

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

Институт Наук о Земле

Кафедра минералогии

Осипов Анатолий Станиславович

Минералогия щелочных пегматитов Кондёрского массива

Магистерская диссертация
по направлению 05.04.01 «Геология»

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель:
к.г.-м.н., доц. Антонов А.А.

« _____ » _____ 2017

Заведующий кафедрой:
к.г.-м.н., доц. Антонов А.А.

« _____ » _____ 2017

Санкт-Петербург
2017

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	2
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. КОНДЕРСКИЙ МАССИВ	7
2. ЩЕЛОЧНЫЕ ПЕГМАТИТЫ КОНДЁРСКОГО МАССИВА.....	13
2.1 Пегматиты нефелиновых сиенитов.....	14
2.2 Пегматиты сиенитов.....	17
2.3 Пегматиты иолит-уртитов	18
2.4 Эвдиалит-содержащие породы эгирин-альбитового состава.....	19
2.5. Вишневитовые породы.....	22
3. МИНЕРАЛЫ ЩЕЛОЧНЫХ ПЕГМАТИТОВ КОНДЁРСКОГО МАССИВА	24
3.1 Главные минералы.....	25
3.1.1 Эгирин	25
3.1.2 Альбит	31
3.1.3 Нефелин	34
3.1.4 Вишневит	36
3.2 Второстепенные минералы	39
3.2.1 Лампрофиллит, Баритолампрофиллит	39
3.2.2 Микроклин	44
3.2.3 Титанит	46
3.2.4 Эвдиалит	48
3.3 Редкие минералы	58
3.3.1 Кальциокатаплеит	58
3.3.2 Эльпидит	61
3.3.3 Бобтраиллит	63
3.3.4 Стилвеллит-(Ce)	66
3.3.5 Датолит	69
3.3.6 Кайнозит-(Y)	70
3.3.7 Перклевеит-(Ce)	77
3.3.8 Мусковит	79
3.3.9 Анальцим	81
3.3.10 Сепиолит, Нчванингит, Пирофанит	83

3.3.11 Стронадельфит, Фторапатит	88
3.3.12 Высокостронциевый апатит	90
3.3.13 Ксенотим-Y	91
3.3.14 Бритолит-(Ce)	94
3.3.15 Монацит – (Ce), Монацит – (Nd)	97
3.3.16 Гальгенбергит-(Ce), Кальцит	100
4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ.....	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	112
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	114

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

Aeg	Эгирин		Chr	Хромит
Ab	Альбит		Anl	Анальцим
Nph	Нефелин		Sep	Сепиолит
Vnv	Вишневит		Nch	Нчванингит
Lph	Лампрофиллит		Ap	Фторапатит
Blph	Баритолампрофиллит		Std	Стронадельфит
Kfs	Микроклин		Flc	Фторкафит
Ttn	Титанит		Xen	Ксенотим-(Y)
Eud	Эвдиалит		Brt	Бритолит-(Ce)
Cat	Кальциокатаплеит		Mnz-(Ce)	Монацит-(Ce)
Elp	Эльпидит		Mnz-(Nd)	Монацит-(Nd)
Bob	Бобтрайллит		Cal	Кальцит
Stl	Стилуэллит-(Ce)		Pph	Пирофанит
Dat	Датолит		Gal	Гальгенбергит-(Ce)
Kns-(Y)	Кайнозит-(Y)		Py	Пирит
Pcv	Перклевеит-(Ce)		Cpy	Халькопирит
Ms	Мусковит		Bn	Борнит

Сокращения составлены с использованием литературных данных (Ralph Kretz, 1983)
(Donna L. Whitney, Bernard W. Evans, 2010).

ВВЕДЕНИЕ

Кондерский массив – крупнейшее в России, и одно из крупнейших в мире месторождение платины. Разработки ведутся с 1984г, а разведанные запасы на середину 2013 года составляли 30 тонн (А. Николаев, 2013).

Данное геологическое тело образованно в результате последовательного внедрения различных по составу интрузий, тяготеющих к единому центру. В этой системе имеют место многочисленные дайкообразные и жилообразные тела щелочных пегматитов, которые, до настоящего времени, не были в значительной степени освещены в научных исследованиях.

Агпайтовые породы массива имеют не только различные текстурно – структурные особенности, но и разнообразный минеральный состав. Так, в числе других минералов были обнаружены разнообразные силикаты, фосфаты и карбонаты редкоземельных элементов и редкие бор-содержащие минералы. Несколько более детально охарактеризован встреченный в пегматитах гидратированный карбонатсодержащий аналог мангановэвдиалита, который имеет уникальный для минералов группы эвдиалита химический состав.

Исследуемые в данной работе образцы были отобраны во время поездки группы сотрудников и студентов СПбГУ на месторождение «Кондер» - Кондерский кольцевой щелочно-ультраосновный массив в августе 2013 года.

Изучение щелочных пегматитов массива Кондер было начато в рамках курсовой работы 3 курса, проводилось в рамках выпускной квалификационной работы 4 курса и продолжается в настоящей работе.

Основной целью работы является минералогическая характеристика жильных щелочных горных пород Кондёрского массива.

Для этого были поставлены следующие задачи:

- Дать минералого-петрографическую характеристику щелочных пегматитов Кондёрского массива
- Диагностировать и охарактеризовать минералы щелочных пегматитов, выявить особенности их морфологии, структуры и химического состава, внутреннего строения
- Описать пространственно временные взаимоотношения минералов, установить общую последовательность их образования

Для выполнения поставленных задач были использованы следующие методы:

- *Волновой дисперсионный микроанализ* – проводился в Музее Естественной Истории (Лондон) на оборудовании Комека-100, а так же в ресурсном центре СПбГУ «Геомодель», на аппаратном комплексе, состоящем из сканирующего электронного микроскопа Hitachi «S-3400N» с приставкой количественного энерго-дисперсионного микроанализа «EDX - AzTec Energy 350» и комплекса программ «INCA Energy» компании Oxford Instruments.

- *Энерго-дисперсионный микроанализ* - проводился в ресурсном центре СПбГУ «Геомодель», на аппаратном комплексе, состоящем из сканирующего электронного микроскопа Hitachi «S-3400N» с приставкой количественного энерго-дисперсионного микроанализа «EDX - AzTec Energy 350» и комплекса программ «INCA Energy» компании Oxford Instruments.

- *Оптическая микроскопия* - проводилась на кафедре минералогии СПбГУ на микроскопе Leica «DM2500M».

- *Рентгенофазовый анализ* - проводился в ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования» на аппарате Rigaku «MiniFlex II» с использованием программы «PDXL» и базы данных «PDF-2» на излучении Cu-K α .

- *Рентгеноструктурный микроанализ* - проводился в РЦ СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования» на аппаратном комплексе Bruker «D8 Discover». Построение структур выполнялось в программе Diamond 3.1d.

Инфракрасная спектроскопия - проводилась в РЦ СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования» на ИК Фурье-спектрометре Bruker «Vertex 70» при комнатной температуре в диапазоне 400 – 4000 см⁻¹. Обработка данных выполнена при помощи пакета программ OPUS.

Рамановская (КР) спектроскопия – проводилась в РЦ СПбГУ «Геомодель» на рамановском спектрометре Horiba Jobin-Yvon LabRam HR 800. Данные обрабатывались в программе «Crystal Sleuth» с использованием базы данных «RRUFF Info».

1. КОНДЕРСКИЙ МАССИВ

Кондерский щелочно-ультраосновный массив находится в восточной части Алданского щита Сибирской платформы, Хабаровский край, Россия.

Месторождение расположено в бассейне р. Май, в междуречье ее левых притоков – Омни и Маймакана. Оно характеризуется резким горным рельефом, высшая точка – 1398м (Рис. 1.1.).



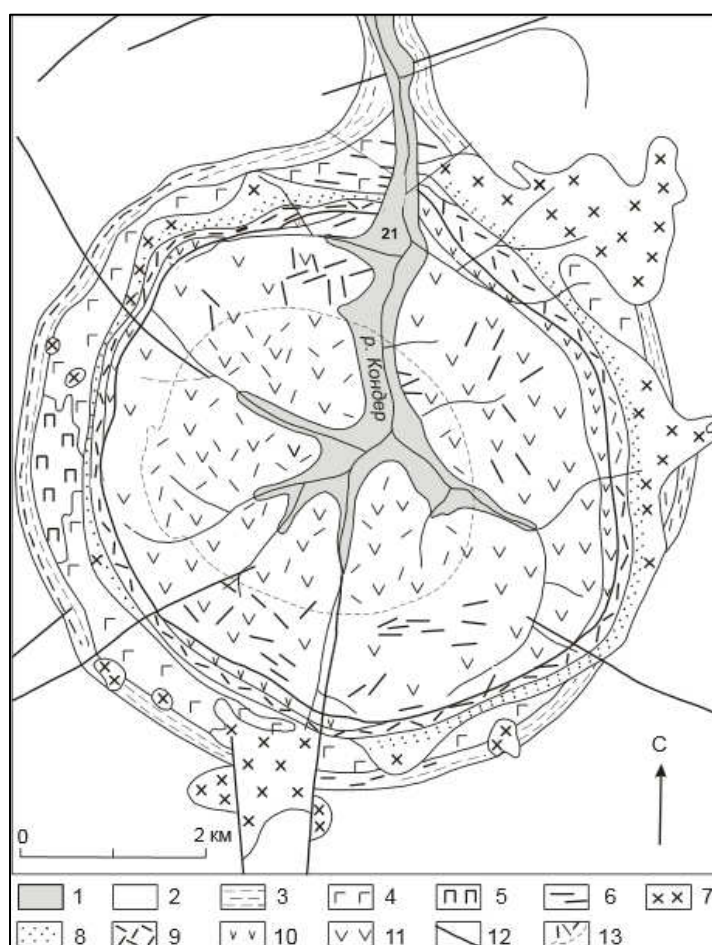
Рисунок 1.1. Кондерский массив. Трехмерное изображение сервиса «Google Earth»

В плане геологии представляет собой кольцевую зональную интрузивную структуру, площадью около 12 км² и диаметром около 7,5км (Рис. 1.2.).

В процессе формирования Кондёра вмещающие породы образовали куполовидную структуру. При этом можно выделить внешнюю ее часть, с углами падения 30-45 (редко – до 80) градусов от массива и внутреннюю, с углами падения от 40 до 80 градусов в сторону массива. Между собой они разделены кольцевым разломом. Породы внешней части представлены архейскими метаморфитами и перекрывающими их терригенными отложениями верхнепротерозойского комплекса. Это, прежде всего, неравномерно ороговикованные песчаники и алевролиты рифея – тонкозернистые, плотные темноцветные породы, иногда с более светлыми буро – коричневыми прослоями. Внутренняя зона сложена более раскристаллизованными мелкозернистыми сланцами и

гнейсами, содержащими в своем составе биотит, мусковит, гранат, андалузит, силлиманит и другие минералы. Кроме того, здесь встречаются блоки реликтовых роговиков, неотличимых от пород внешней части, а так же пластоподобными телами карбонатных пород. Вероятно, подобные образования были встречены нами в север-северо-восточной части кольца (описаны далее).

Центральная часть сложена дунитами, которые вместе с другими ультраосновными породами резко доминируют, составляя до 90% площади массива. Дуниты слагают изометричное штокообразное тело около 6,5 км в поперечнике.



1 – Рыхлые четвертичные отложения; 2-3 – верхний протерозой, тоттинская свита: 2 – алевролиты и аргиллиты ороговикованные, 3 – алевролиты и песчаники ороговикованные; 4 – архей, утукачанская свита (высокоглиноземистые и гиперстенсодержащие гнейсы, кварциты, мраморы); 5 – позднеархейские пегматоидные граниты; 6-11 – образования Кондерского массива: 6 – щелочные пегматиты, 7 – диориты, диорит – сиениты, 8 – меланократовые габброиды, 9 – косьвиты, 10 – пироксениты, 11 – дуниты; 12 – разрывные нарушения; 13 – поле интенсивного развития в дунитах жильных и дайковых тел косьвитов в центре массива.

Рисунок 1.2. Схематическая геологическая карта Кондерского массива (составили: Г.В. Андреев, А.А. Ельянов, А.Н. Мильто с дополнениями А.С. Каретникова, 2005) и пояснения к нему

Породы сплошные среднезернистые, реже – крупно или мелкозернистые. Цвет – болотный, бурый. Часто сильновыветрелые. Дуниты секутся прожилками ярко-зеленого хромдиоксида длиной до нескольких метров и шириной 3-7 сантиметров; часто наблюдаются хорошо проявленные процессы серпентинизации. Дуниты содержат рассеянную хромитовую минерализацию, кроме того, в них встречаются шлировидные обособления хромита (Рис. 1.3). Размер – от первых сантиметров до нескольких метров. К этим образованиям приурочены скопления изоферроплатины – главного рудного компонента месторождения.



Рисунок 1.3. Шлировидное тело – хромит (Chr) в дуните

Оторочка дунитового ядра сложена клинопироксенитами (преимущественно оливиновыми) и меланократовыми габброидами нормального ряда щелочности. Она имеет мощность около 500 метров.

Так же кольцевую оторочку по периферии штока слагают маломощные (до 1.5 м) дайкообразные тела косьвитов (Рис. 1.4) – плотных тонкокристаллических темноцветных пород, основными породообразующими минералами которых являются эгирин, магнетит, ильменит и флогопит. Они же образуют крупное поле (около 4 кв.км.) в центре массива. Дайки и прожилки косьвитов часто зональны, имеют многочисленные апофизы, раздувы и пережимы. Они разветвляются, переплетаются между собой, меняют углы падения и простирания, и, в целом, образуют штокверкоподобное тело. Однако, наиболее мощные жилы преимущественно падают под углом 40-60 градусов к центру массива.

Стоит отметить, что среди косьвитов выделяются участки, сложенные перекристаллизованными крупнозернистыми апатит - биотит - «титаномагнетит» - эгириновыми породами. Иногда они образуют самостоятельные дайкообразные тела.

Некоторые авторы (В.Г. Гурович и др, 1994) отмечают высокие содержания в рудных пироксенитах редкоземельных элементов и иттрия, фосфора, бария, стронция, рубидия, тантала, циркония и ниобия при относительно низких содержания железа, кобальта, никеля и серы. Они связывают это с активизацией метасоматических процессов изменения косьвитов во время обширного внедрения поздних щелочных интрузий.



Рисунок 1.4 Тела косьвитов в массивном выветрелом дуните

Вся перечисленные породы секутся различными по размеру и залеганию жильными телами щелочных пегматитов (Рис. 1.5). Наиболее развиты они в краевых зонах Кондёрской кольцевой интрузии.

Помимо того, в север-северо-восточной части кольца наблюдался выход существенно карбонатных пород. В них отмечены линзы и прожилки голубого кальцита (Рис. 1.6), шпинель и другие минералы. Это тело находится в контакте со щелочными пегматитами.

В массиве также были встречены единичный выход монтичеллитовых пород, более чем на 70% сложенные крупными кристаллами (до сантиметра по удлинению) монтичеллита и перекристаллизованные, крупнозернистые породы с высоким

содержанием (до 50%) бледного, зеленовато-желтого сахаровидного апатита и крупными кристаллами флогопита.

Поскольку Кондёрский массив в первую очередь – уникальное месторождение платины, необходимо уделить внимание генезису и распределению рудной минерализации в массиве.

Генетически и пространственно, рудная минерализация Кондёра связана с дунитами. Тем не менее, повышенные относительно кларковых содержания платиноидов отмечены и в других породах, в том числе косъевитах (Гурович и др., 1994) и сульфидизированных щелочных сиенитах (Мочалов, Галанкина, 2015).

Основная часть металлов платиновой группы в процессе кристаллизации ультраосновного расплава вошла в состав породообразующих оливина и хромшпинелидов. Меньшая часть была сконцентрирована в остаточном расплаве, обогащенном, кроме прочего, и летучими компонентами. Он кристаллизовался на поздних стадиях минералообразования в апикальной части дунитового штока, формируя дунит-пегматиты. При этом происходило очищение породы от рудного вещества с оттеснением последнего к контактовым зонам тел дунит-пегматитов.

Исключительное влияние на становление Кондёрского массива оказало внедрение поздних интрузий алданского комплекса, в том числе щелочных. Оно повлекло за собой обширные метасоматические изменения пород, в особенности – косъевитов. При этом происходило перераспределение платиноидов в массиве. Часть из них была аккумулярована во вмещающие дуниты, часть – в другие породы. Последние исследования обнаруживают в метасоматизированных косъевитах перспективную золото-паладиевую минерализацию.

По совокупности отмеченных факторов (проявление платиновой и золото-паладиевой минерализации в косъевитах, платиновой минерализации в щелочных породах и связь рудной минерализации с внедрением щелочных интрузий) изучение щелочных пород Кондёрского массива, в частности – их пегматитов, представляется крайне важным. Учитывая слабую изученность щелочных пород массива в целом и давность предшествующих исследований, настоящая работа должна существенно обновить данные по минералогии агпайтовых пегматитов Кондёра и проходившим в них процессам минералообразования.

Таким образом, основным объектом исследования представленной работы являются щелочные пегматиты Кондёрского щелочно-ультраосновного массива.



Рисунок 1.5 Тела щелочных пегматитов, вскрытые в русле ручья



Рисунок 1.6 Прожилки голубого кальцита в карбонат-содержащей породе

2. ЩЕЛОЧНЫЕ ПЕГМАТИТЫ КОНДЁРСКОГО МАССИВА

Образцы щелочных пегматитов, исследуемые в данной работе, были отобраны преимущественно в север-северо-восточной, северо-восточной и восточной частях массива.

Тела щелочных пород и, в частности, пегматитов локализуются в краевых частях Кондёрского массива. Они образуют жильные и дайковые тела, различные по падению. Мощность жил – от нескольких сантиметров до первых десятков метров.

Пегматиты довольно значительно различаются между собой как по минеральному составу, так и по текстурно-структурным особенностям. По всей видимости, их можно разделить на две группы. К первой относятся постмагматические породы, которые не были существенно подвержены процессам последующих изменений. В этой группе можно выделить три разновидности щелочных пегматитов.

- 1) Пегматиты нефелиновых сиенитов
- 2) Пегматиты сиенитов
- 3) Пегматиты иолит-уртитов

Во второй группе представлены метасоматиты по щелочным пегматитам, в которых процессы вторичного изменения проявлены чрезвычайно широко. На это указывают как текстурно-структурные особенности, так и крайне интересный минеральный состав. Здесь было выделено две разновидности:

- 1) Эвдиалит-содержащие породы эгирин-альбитового состава
- 2) Вишневитовые породы

Перед тем, как перейти к описанию различных пегматитов, необходимо отметить, что в их составе нами было обнаружено несколько десятков минеральных видов. По объемному процентному содержанию в породе они были разделены на три группы. Главные минералы - широко распространены и составляют основную часть пегматита – до 60%. Второстепенные минералы – встречаются реже, однако могут слагать до 10-15% объёма породы. Редкие минералы – как правило, различимы только при сильном увеличении. Они образуют крайне мелкие выделения, в среднем – около 100 микрон и, в совокупности, составляют менее 1% от общего объема породы. Стоит уточнить, что деление на группы условно, и некоторые минералы, например – нефелин, будучи главным минералом для одной разновидности пегматитов, будет присутствовать в другой лишь на микроуровне, являясь для нее редким.

2.1 Пегматиты нефелиновых сиенитов

Главной отличительной особенностью этих пород является выраженная зональность в строении. Она особенно отчетливо наблюдается в неглубоких по ширине жилах. От контакта с вмещающими породами к середине жилы направленно тянутся черные кристаллы эгирина в мелкозернистом альбите (рис.2.1.) или крупные кристаллы нефелина также в сростании с альбитом (рис. 2.2.). Нефелин насыщенного желто-зеленого цвета, сильно трещиноватый. Альбит имеет белый цвет, размер кристаллов редко достигает 0,5 см.

В целом, направленные кристаллы в краевых частях жилы расположены под близким к 90 градусам углом относительно контакта с вмещающими породами, а ближе к центру сменяются более мелкими зернами. Так, эгирин от достаточно крупных, вытянутых кристаллов (1-4 см по удлинению и 0,3-0,8 см по ширине) переходит к тонковолокнистыми агрегатами, слагающим сплошные массы, радиально-лучистым агрегатам, отдельным тонким кристаллам в виде включений в более крупном альбите, нефелине.



Рисунок 2.1. Образец пегматита нефелиновых сиенитов. «1» - зона контакта с вмещающими породами, в которой наблюдаются направленные кристаллы эгирина (Aeg), выветрелые зерна калиевого полевого шпата (Kfs), нефелина (Nph) и мелкозернистый альбит (Ab)

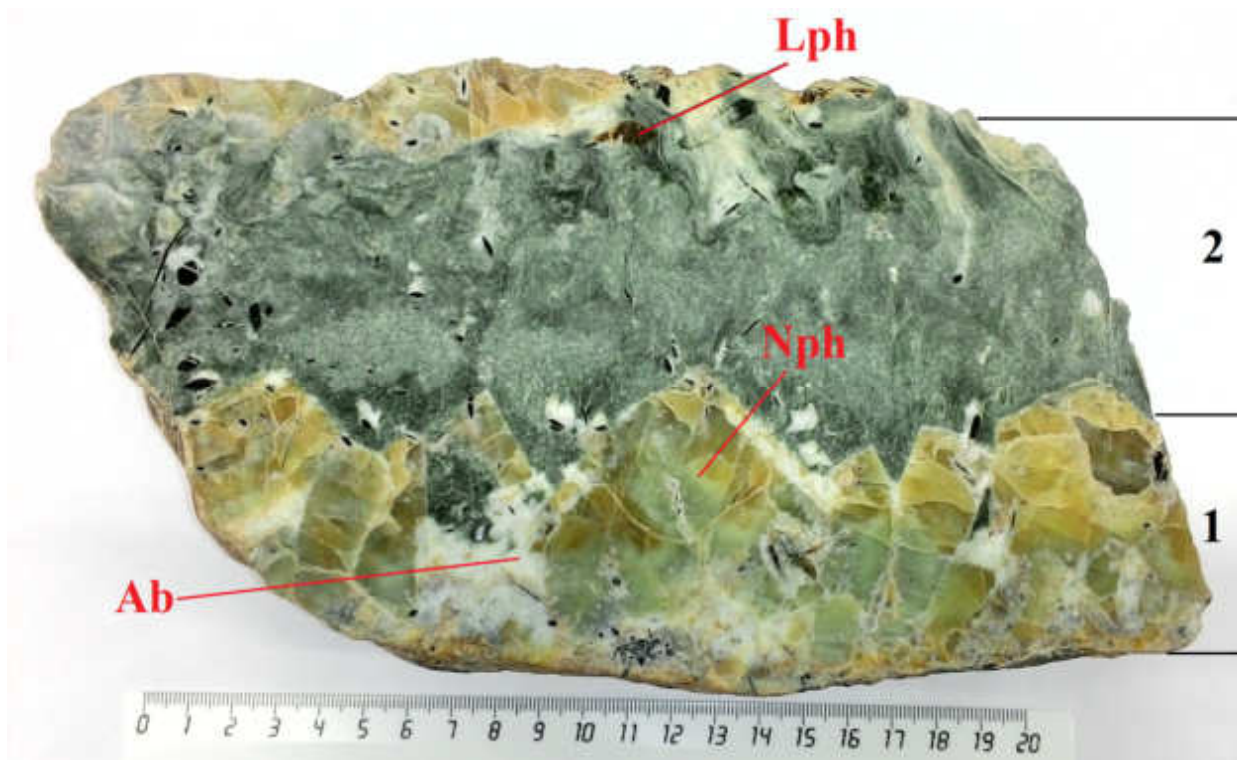


Рисунок 2.2. Образец пегматита нефелиновых сиенитов. «1» - зона контакта с крупными направленными кристаллами нефелина (Nph) и мелкозернистым альбитом (Ab). «2» - центральная зона, сложенная тонковолокнистыми кристаллами эгирина и альбитом с выделениями более крупных черных зерен эгирина и единичным зерном лампрофиллита (Lph)

Дальнейшее чередование минеральных участков не имеет определенных закономерностей. Друг друга сменяют зоны, по составу существенно альбитовые (мелкозернистые) или нефелиновые, сложенные достаточно крупными отдельно расположенными кристаллами, либо тонковолокнистые агрегаты эгирина. Мощность зон различна и колеблется в пределах 1-5, реже – 7-8 сантиметров.

Центральная часть жилы всегда образована кристаллами меньшими по размеру, нежели в краевых участках, но аналогична им по составу. Она представляет единую зону, состоящую из альбита, эгирина и нефелина. Эта часть составляет в среднем около 50% и до 80% от общей площади жилы. Зерна калиевого полевого шпата и нефелина часто измененные.

Стоит отметить, что зональность, если она присутствует, в жилах всегда зеркальная.

В целом, минеральный состав зональных пегматитов нефелиновых сиенитов не слишком разнообразен (Таб. 2.1). К главным минералам здесь можно отнести эгирин (30-

50% об.), альбит (20-30% об.) и нефелин(10-40% об.). Второстепенные – ортоклаз, лампрофиллит (до 10% об.). Редкие – титанит, стронадельфит (не более 1% об.) (Таб. X).

Таблица 2.1

Минеральный состав пегматитов нефелиновых сиенитов

	Название	Формула
Главные	Эгирин	$\text{NaFe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_6)$
	Альбит	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$
	Нефелин	$\text{Na}_3\text{K}(\text{AlSiO}_4)_4$
Второстепенные	Лампрофиллит	$\text{Na}_2\text{Sr}_2\text{Ti}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_2(\text{OH})_2$
	Микроклин	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$
Редкие	Титанит	$\text{CaTi}(\text{SiO}_4)\text{O}$
	Стронадельфит	$\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$

Отдельно стоит отметить морфологию лампрофиллита, который образует как отдельные мелкие кристаллы (рисунок 2.2), так и сноповидные, радиально-лучистые агрегаты пластинчатых кристаллов (рис. 2.3). В отличие от лампрофиллитовых пегматитов сиенитов, в нефелиновых пегматитах сиенитов, как, в прочем, и в других щелочных пегматитах массива, этот минерал представлен только стронций-доминантной разновидностью.



Рисунок 2.3 Агрегат лампрофиллита, сложенный пластинчатыми кристаллами

К ранним минералам описанной породы, по всей видимости, относятся нефелин, первая генерация эгирина (более крупные отдельные кристаллы), лампрофиллит и микроклин. Наиболее поздние – мелкозернистый альбит и вторая генерация эгирина (тонковолокнистые агрегаты).

2.2 Пегматиты сиенитов

Эти незональные породы были встречены в бортах р. Бегун в восточной части массива. Основную массу здесь составляют эгирин (45% об.) и альбит (40% об.). Эгирин встречается в виде игольчатых кристаллов черного цвета. Они образуют спутанные тонковолокнистые агрегаты округлой формы шириной 1-3 см, а отдельные иголки минерала равномерно распределены в остальной массе породы в виде включений в альбите. Последний образует сплошной мелкозернистый агрегат светло-серого или серого цвета. Зерна изометричные, размер не превышает 5мм.

Отличительной особенностью этих пегматитов является присутствие в составе лампрофиллита (рис. 2.4). Он составляет около 15% объема породы являясь второстепенным минералом. Образует крупные (до 5-7 см по удлинению и до 2 см по ширине) идиоморфные кристаллы коричневого цвета с золотистым отливом.



Рисунок 2.4 Крупный кристалл лампрофиллита (Lph) в альбит– эгириновой массе.

Особенностью лампрофиллита в этих породах является значительная примесь бария, в некоторых случаях превышающего количество стронция, что говорит о переходе к другой, более поздней разновидности – баритолампрофиллиту. На микроуровне были отмечены прорастания баритолампрофиллита по лампрофиллиту, подтверждающие его более позднюю относительно других минералов кристаллизацию.

Лампрофиллит в пегматитах сиенитов является наиболее ранним минералом. Эгирин и альбит кристаллизовались несколько позднее.

2.3 Пегматиты иолит-уртитов

Это плотная темноцветная порода (рис. 2.5), сложенная спутанным волокнистым агрегатом черного эгирина, в массе которого неравномерно распределены серые кристаллы нефелина. Они образуют как отдельные зерна размером от 0.5 до 4 сантиметров, так и крупные скопления зерен. Отдельные индивиды нефелина часто расположены в массе скрытокристаллического нефелина второй генерации.

Кристаллы нефелина почти всегда несут следы выветривания. По аналогии с другими породами Кондёрского массива, можно предположить, что они замещаются анальцимом.

К сожалению, эти пегматиты были встречены только в виде крупных обломков в русловых отложениях ручьев, коренного выхода найти не удалось. Исходя из размеров валунов, можно предположить, что описанная порода слагала пегматитовое тело целиком. Тем не менее, нельзя исключить, что это обломок центральной части зональной жилы.

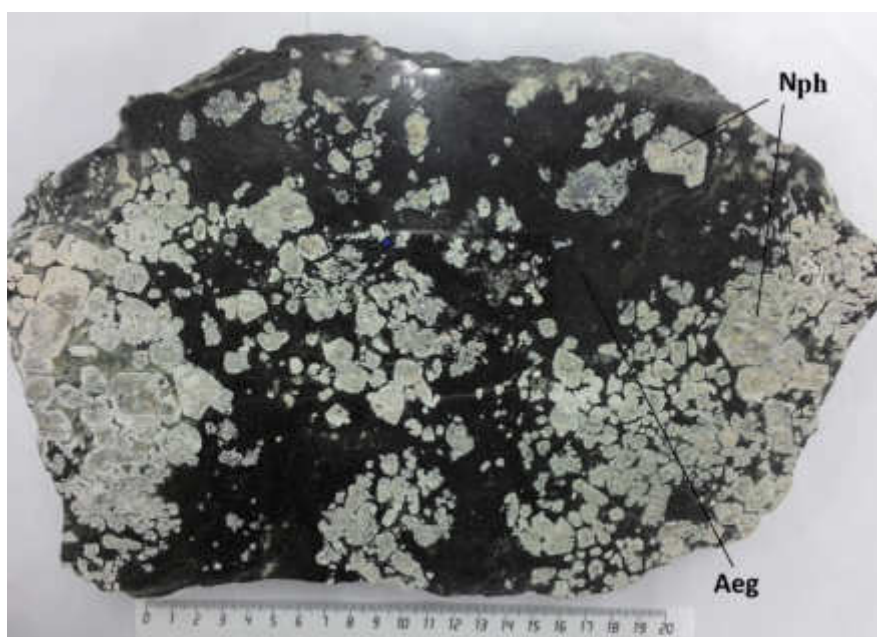


Рисунок 2.5 Кристаллы нефелина (Nph) в тонковолокнистом агрегате эгирина (Aeg)

Следующие разновидности щелочных пегматитов Кондёрского массива, в отличие от описанных выше, были подвержены активной гидротермально-метасоматической переработке. На это указывают как гораздо более разнообразный минеральный состав, в особенности – редкие минералы, так и сильные текстурно-структурные изменения.

2.4 Эвдиалит-содержащие породы эгирин-альбитового состава

Эти породы отличаются от других пегматитов Кондёра наиболее разнообразным минеральным составом. Здесь, в том или ином виде, встречаются все минералы, описанные в работе (Таб. 2.2). Исключением являются только сульфиды и вишневит, которые были встречены в составе вишневитовых пегматитов, а также баритолампрофиллит, отмеченный только в пегматитах сиенитов.

Основу породы составляет тонковолокнистый зеленый эгирин (40-45% об.), который образует хаотичные сростки, радиально-лучистые агрегаты и отдельные включения в других минералах. Часто его агрегаты имеют веретеновидную вытянутую форму, образуя подобие пятнистой текстуры. Размер таких сростков – 0,5 – 1 см. Группы таких веретеновидных агрегатов часто расположены направленно, согласно их удлинению (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 Образец эвдиалитсодержащего эгирин-альбитового пегматита с крупными измененными кристаллами эвдиалита (Eud), мелкозернистым альбитом (Ab) и тонковолокнистой зеленой массой эгирина

Пространство между различными агрегатами эгирина заполняет мелкозернистый альбит (35-40% об.), размер зерен которого не превышает 0,1-0,3 мм. Иногда этот минерал образует достаточно крупные, фактически мономинеральные участки в пегматите. Кроме того, редкие зерна встречаются и в описанных агрегатах эгирина.

Таблица 2.2

Минеральный состав эвдиалитсодержащих пегматитов эгирин-альбитового состава

		Название	Формула
Глав- ные		Эгирин	$\text{NaFe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_6)$
		Альбит	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$
Второстепен- ные		Лампрофиллит	$\text{Na}_2\text{Sr}_2\text{Ti}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_2(\text{OH})_2$
		Микроклин	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$
		Титанит	$\text{CaTi}(\text{SiO}_4)\text{O}$
		Эвдиалит	$\text{Na}_{12}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)_2(\text{Si}_9\text{O}_{24}(\text{OH})_3)_2$
Редкие	Силикаты	Нефелин	$\text{Na}_3\text{K}(\text{AlSiO}_4)_4$
		Кальциокатаплект	$\text{CaZr}(\text{Si}_3\text{O}_9) \cdot \text{H}_2\text{O}$
		Эльпидит	$\text{Na}_2\text{Zr}(\text{Si}_6\text{O}_{15}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
		Бобтрайллиит	$\text{Na}_{13}\text{Sr}_{11}(\text{Zr}_{13}\text{Y})(\text{B}_6\text{Si}_{42}\text{O}_{132})(\text{OH})_{12} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
		Стилуэллит-(Ce)	$\text{CeB}(\text{SiO}_4)\text{O}$
		Датолит	$\text{Ca}(\text{BSiO}_4)(\text{OH})$
		Кайнозит-(Y)	$\text{Ca}_2\text{Y}_2(\text{Si}_4\text{O}_{12})(\text{CO}_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$
		Перклевеит-(Ce)	$\text{Ce}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)$
		Мусковит	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
		Анальцим	$\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$
		Сепиолит	$\text{Mg}_4(\text{Si}_6\text{O}_{15})(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
		Нчванингит	$\text{Mn}_2(\text{SiO}_3)(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
	Фосфаты	Стронадельфит	$\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
		Фторкафит	$\text{CaSrCa}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$
		Ксенотим-(Y)	$\text{Y}(\text{PO}_4)$
		Бритоцит-(Ce)	$(\text{CaCe})\text{Ce}_3(\text{SiO}_4)_3(\text{O},\text{F})$
		Монацит-(Ce)	$\text{Ce}(\text{PO}_4)$
		Монацит-(Nd)	$\text{Nd}(\text{PO}_4)$
	Другие	Кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$
		Пирофанит	MnTiO_3
		Гальгенбергит-(Ce)	$\text{Ca}(\text{Ce},\text{La},\text{Nd})_2(\text{CO}_3)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

В эгирин-альбитовой массе рассеяны второстепенные минералы, среди которых особенно выделяется малиновый эвдиалит. Слагая около 10% объема породы, он встречается в виде отдельных, но чаще образует группы субидiomорфных зерен (рис. 4.1.). В таких группах, как правило, присутствует несколько крупных индивидов (3 – 5 сантиметров), окруженных большим количеством более мелких (0,5 – 1,5 сантиметра). Кристаллы эвдиалита зональные, практически всегда несут следы изменения. Основным минералом, замещающим эвдиалит, является кальциокатаплект. К участкам разрушения так же приурочена разнообразная микроминерализация, относящаяся к группе «редких» минералов. На них приходится около 1% объёма всего пегматитового тела.

Судя по морфологии кристаллов и выраженным вторичным изменениям, эвдиалит является одним из наиболее ранних кристаллизовавшихся минералов. Эгирин-альбитовая масса часто как бы обтекает отдельные зерна эвдиалита (рис. 2.7).

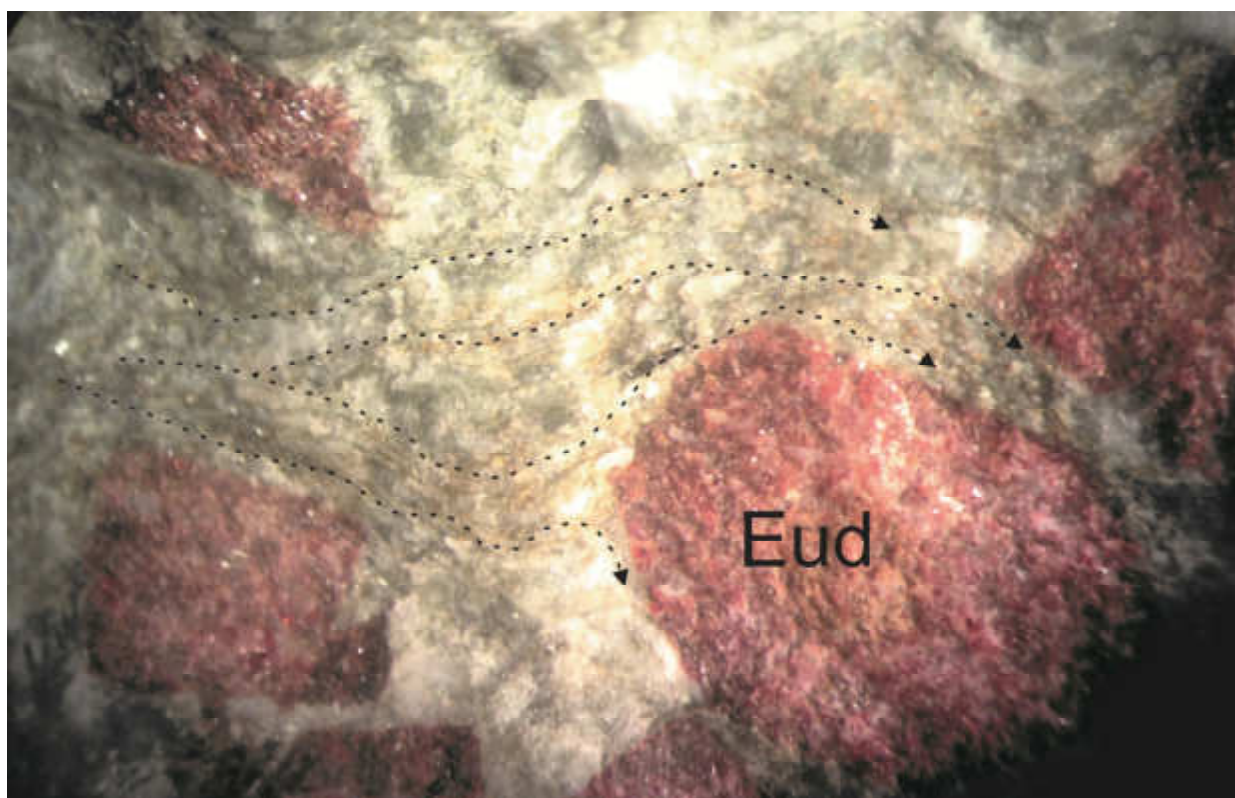


Рисунок 2.7 Текстуры обволакивания эгирин-альбитовой массой кристаллов эвдиалита (Eud). Направление текстуры обозначено пунктиром. Ширина изображения 5мм.

Другими второстепенным минералом является микроклин. Он образует крупные блочные кристаллы (около 7 см) белого цвета с ясно различимой спайностью. Выделения редки и слагают до 3-5% объёма породы.

Кроме того, в массе породы равномерно распределены некрупные (до 1-2 см) зерна лампрофиллита. Кристаллы имеют субидiomорфный облик, практически не несут следы вторичных изменений. Их количество в породе так же составляет 3-5 % объёма.

Отметим некрупный образец, в целом, сходный по составу с пегматитами нефелиновых сиенитов. Вероятно, он относится к краевой части тела эгирин-альбитовых пород. Основным маркёром, который позволяет отнести его к описанным пегматитам – эвдиалит, который здесь имеет практически неизменный облик. Кроме того, в образце ясно различимы некрупные зерна нефелина и ортоклаза. Видно, что по своему минеральному составу он сходен с пегматитами нефелиновых сиенитов, описанными ранее. Таким образом, можно сделать предположение, что эгирин-альбитовые пегматиты изначально являлись эвдиалитсодержащим аналогом пегматитов нефелиновых сиенитов. Очевидно, что основная масса этой породы – результат активных гидротермально-метасоматических процессов, повлекших за собой разрушение нефелина, полевого шпата, массовое развитие альбита и перекристаллизацию эгирина.

2.5. Вишневитовые породы

Эти породы синего цвета различной интенсивности имеют массивную текстуру (Рис. 2.8). Основным минералом, слагающим пегматит, является сульфатная разновидность канкринита – вишневит. Он слагает до 90% породы образуя скрытокристаллический агрегат синего, голубовато-синего или голубого цвета. В массе этого минерала обнаруживаются мелкие сульфиды – пирит, борнит, халькопирит, образующие выделения до 2-3 мм, хаотично распределённые в породе. На них, а так же реликты полевых шпатов и фельдшпатоидов, приходится оставшиеся 10% объема породы.

Кроме того, на сколах образцов часто наблюдаются корки до 3-5 мм, сложенные белым, рассыпчатым минералом – каолинитом (?).

Вероятнее всего, вишневит здесь является вторичным минералом, образовавшимся по ранним полевым шпатам и фельдшпатоидам в результате поздней гидротермально-метасоматической переработки породы.

По всей видимости, вишневитовые пегматиты – одни из наиболее измененных щелочных пород Кондёра. В них практически отсутствуют реликты первичного пегматита, отдельные выделения нефелина были встречены лишь на микроуровне – под электронным микроскопом.

Описанные породы, несомненно, требуют дальнейшего изучения, результаты которого могут существенно дополнить понимание процессов вторичного изменения, происходивших на разных этапах становления Кондёрского комплекса.



Рисунок 2.8. Образец вишневитовой породы

3. МИНЕРАЛЫ ЩЕЛОЧНЫХ ПЕГМАТИТОВ КОНДЁРСКОГО МАССИВА

В этой главе описаны минералы, слагающие щелочные пегматиты Кондёрского массива, особенности их морфологии, химического состава, структурные особенности. Как было отмечено ранее, все минералы, описанные в работе, можно разделить на три группы, отвечающие их объемному соотношению в породе: главные, второстепенные и редкие.

Всего в щелочных пегматитах Кондёрского массива было выделено 33 минеральных вида (Таб. 3.1). Из них 16 описаны впервые, некоторые, например – бобтрайлит, впервые найдены на территории России, а описанный минерал группы эвдиалита обладает уникальным для этой группы химическим составом и может быть предложен в качестве нового минерального вида.

Таблица 3.1

Совокупный минеральный состав щелочных пегматитов Кондёрского массива

Главные		Эгирин	$\text{NaFe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_6)$
		Альбит	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$
		Нефелин	$\text{Na}_3\text{K}(\text{AlSiO}_4)_4$
		Вишневит	$\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Второстепенные		Лампрофиллит	$\text{Na}_2\text{Sr}_2\text{Ti}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_2(\text{OH})_2$
		Баритолампрофиллит	$\text{KNa}_3\text{Ba}_2\text{Ti}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_4$
		Микроклин	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$
		Титанит	$\text{CaTi}(\text{SiO}_4)\text{O}$
		Эвдиалит	$\text{Na}_{12}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)_2(\text{Si}_9\text{O}_{24}(\text{OH})_3)_2$
Редкие	Силикаты	Кальциокатаплект	$\text{CaZr}(\text{Si}_3\text{O}_9) \cdot \text{H}_2\text{O}$
		Эльпидит	$\text{Na}_2\text{Zr}(\text{Si}_6\text{O}_{15}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
		Бобтрайлит	$\text{Na}_{13}\text{Sr}_{11}(\text{Zr}_{13}\text{Y})(\text{B}_6\text{Si}_{42}\text{O}_{132})(\text{OH})_{12} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
		Стилуэллит-(Ce)	$\text{CeB}(\text{SiO}_4)\text{O}$
		Датолит	$\text{Ca}(\text{BSiO}_4)(\text{OH})$
		Кайнозит-(Y)	$\text{Ca}_2\text{Y}_2(\text{Si}_4\text{O}_{12})(\text{CO}_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$
		Перклевеит-(Ce)	$\text{Ce}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)$
		Мусковит	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
		Анальцим	$\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$
		Сепиолит	$\text{Mg}_4(\text{Si}_6\text{O}_{15})(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
		Нчванингит	$\text{Mn}_2(\text{SiO}_3)(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Продолжение таблицы 3.1

Редкие	Фосфаты	Фторапатит	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F})$
		Стронадельфит	$\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
		Фторкафит	$\text{CaSrCa}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$
		Ксенотим-(Y)	$\text{Y}(\text{PO}_4)$
		Бритолит-(Ce)	$(\text{CaCe})\text{Ce}_3(\text{SiO}_4)_3(\text{O},\text{F})$
		Монацит-(Ce)	$\text{Ce}(\text{PO}_4)$
		Монацит-(Nd)	$\text{Nd}(\text{PO}_4)$
	Другие	Кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$
		Пирофанит	MnTiO_3
		Гальгенбергит-(Ce)	$\text{Ca}(\text{Ce},\text{La},\text{Nd})_2(\text{CO}_3)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
		Пирит	$\text{Fe}(\text{S}_2)$
		Халькопирит	CuFeS_2
		Борнит	Cu_5FeS_4

3.1 Главные минералы

3.1.1. Эгирин (*Aegerine*) - $\text{NaFe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_6)$

Широко распространен во всех типах пегматитов Кондерского массива. В среднем, составляет около 35 – 40 процентов от общего объема породы, являясь, наравне с альбитом, самым распространённым минералом.

Эгирин представлен несколькими морфологическими разновидностями:

- отдельные крупные длинно-призматические кристаллы длиной до 3-4 см
- сплошные тонковолокнистые агрегаты
- радиально – лучистые агрегаты
- в виде включений тонких иголок в кристаллах нефелина, альбита, калиевого полевого шпата

Диагностируется визуально, по результатам рентгенофазового анализа (таб. 3.2) и в шлифах – по характерным цветам интерференции, морфологии (рис. 3.1).

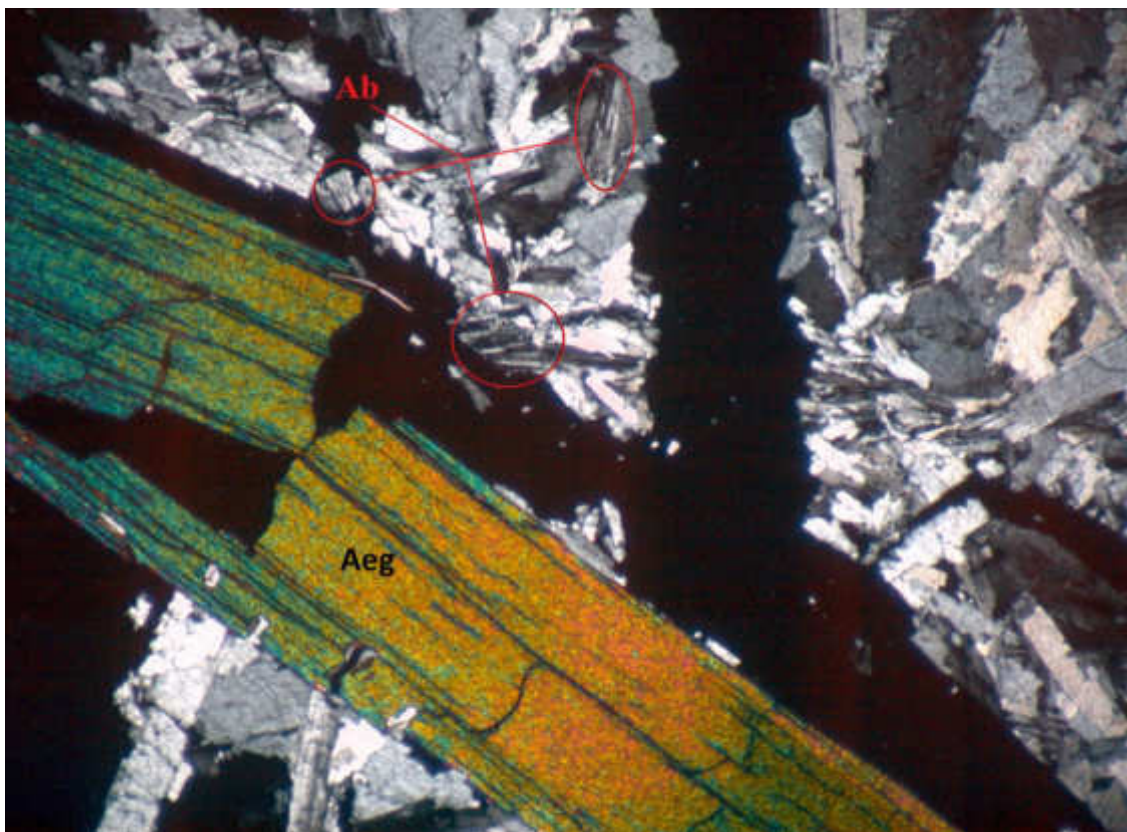


Рисунок 3.1 Эгирин (Aeg) в массе альбита (Ab) в шлифе. Окружностями выделены полисинтетические двойники альбита. Ширина поля зрения 4мм.

Эгирин обычно образует несколько генераций. Наиболее ранние кристаллы первой генерации, образовавшиеся в начале процесса кристаллизации магмы, представлены вытянутыми призматическими индивидами черного цвета. Часто они занимают внешние границы пегматита и пространственно ориентированы от краевой части к центру жилы под близкими к 90 градусам углами.

Вторая генерация эгирина кристаллизовалась либо на конечных этапах минералообразования, либо была образована уже на стадии гидротермальной переработки пегматита. Такой эгирин представлен игольчатыми кристаллами, слагающими спутанные тонковолокнистые, радиально-лучистые агрегаты, обычно – травянисто-зеленого цвета, реже – черного. Часто он проявляет направленность роста, «обтекая» другие, более крупные минералы. Это прослеживается как на макроуровне (Рис. 2.7), так и под электронным микроскопом (рис. 3.2)

Таблица 3.2

Сравнение полученных данных РФА для эгирина из щелочных пегматитов
Кондерского массива и данных базы ICDD.

Исследуемый образец				PDF Card - 00-018-1222					
№	2θ	d(Å)	Intensity	2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l
1	14,021	6,311	10,24	13,893	6,369	90	1	1	0
2	20,258	4,380	4,89	20,091	4,416	80	-	1	1
3	24,710	3,600	0,83	24,613	3,614	10	1	1	1
4	28,026	3,181	17,03	27,964	3,188	50	2	2	0
5	30,043	2,972	12,09	29,929	2,983	70	-	2	1
6	30,882	2,893	100	30,807	2,900	100	3	1	0
7	35,316	2,539	4,16	35,296	2,541	50	-	3	1
8	36,380	2,468	9,24	36,341	2,470	60	2	2	1
9	40,000	2,252	2,18	39,984	2,253	10	3	1	1
10	41,090	2,195	1,64	41,000	2,200	10	0	4	0
11	42,741	2,114	6,11	42,611	2,120	30	-	3	0
12	43,265	2,090	4,43	43,160	2,094	20	-	2	1
13	45,010	2,012	1,32	44,921	2,016	20	0	4	1
14	45,837	1,978	0,99	45,691	1,984	5	2	4	0
15	47,040	1,930	0,98	46,916	1,935	10	-	4	1
16	48,411	1,879	2,57	48,326	1,882	10	-	1	1
17	49,914	1,826	1,15	49,893	1,826	5	3	3	1
18	50,618	1,802	7,66	50,517	1,805	10	2	2	2
19	53,001	1,726	2,87	52,902	1,729	60	1	5	0
20	56,320	1,632	0,81	56,248	1,634	5	-	2	3
21	57,255	1,608	7,39	57,089	1,612	50	-	3	1
22	57,983	1,589	4,33	57,874	1,592	50	4	4	0
23	60,252	1,535	12,95	60,123	1,538	10	6	0	0
24	60,657	1,525	2,64	60,501	1,529	10	3	5	0
25	63,440	1,465	1,13	63,341	1,467	20	0	6	0
26	67,096	1,394	5,83	66,897	1,398	60	-	6	0
27	71,018	1,326	2,67	70,887	1,328	20	-	1	2
28	72,583	1,301	6,57	72,537	1,302	40	7	1	0
29	74,889	1,267	0,95	74,766	1,269	30	0	6	2

Из таблицы 3.2 видно, что пики, полученные при исследовании образца эгирина из Кондерского массива, соответствуют данным эгирина, взятым из базы данных International Centre for Diffraction Data.

Химический состав эгирина достаточно постоянен. Он был получен при помощи рентгеноспектрального микроанализа (таб. 3.4). В целом, он отвечает формуле $\text{NaFe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ (при пересчете состава на 3 атома Si+Ti+Zr+Al+Fe+Mn+Mg (таб. 3.5.)). В составе наблюдаются следующие примеси: Ti, Zr, Al, Mn, Mg, Ca, содержание которых колеблется в пределах 0,1 – 2 вес. %. Данные примеси встречаются постоянно, за исключением циркония – его примесь редка, однако, в зернах с заметным содержанием последнего, наблюдается ярко выраженная зональность (рис. 3.3).

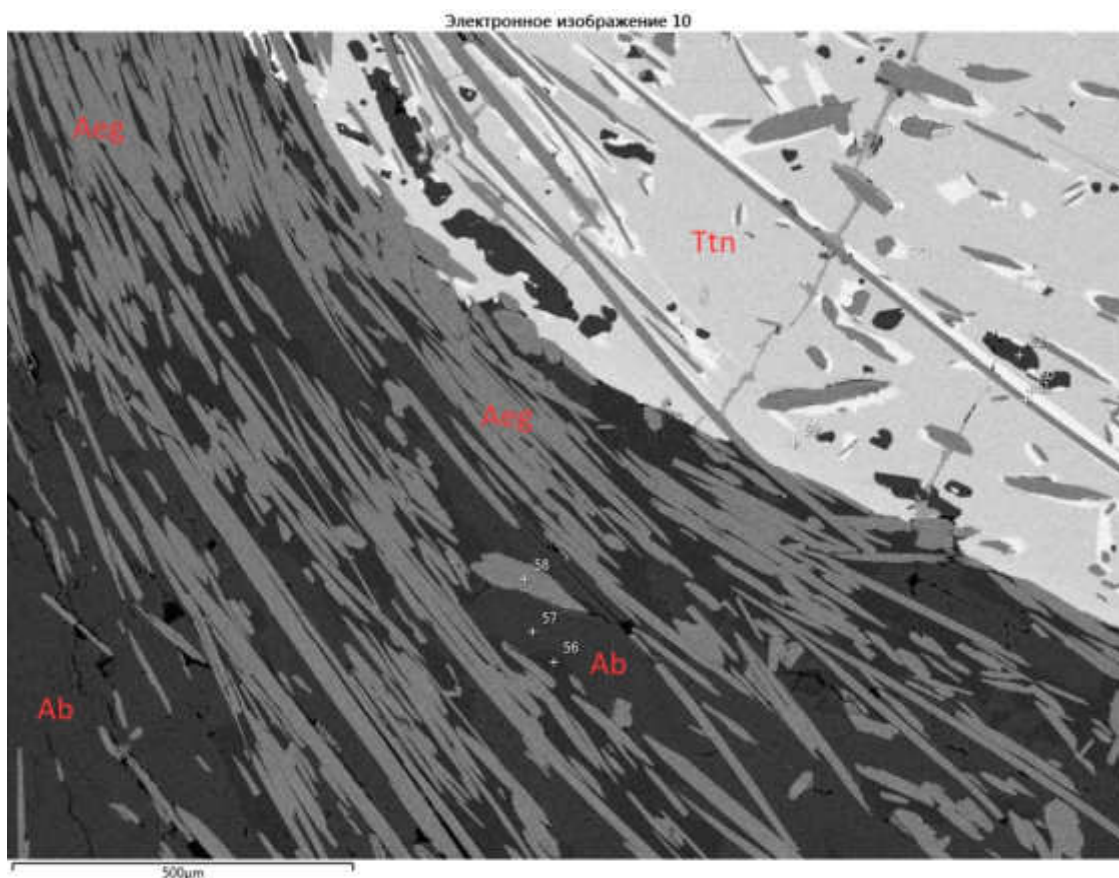


Рисунок 3.2. «Обтекание» массой игольчатых кристаллов эгирина зерна титанита

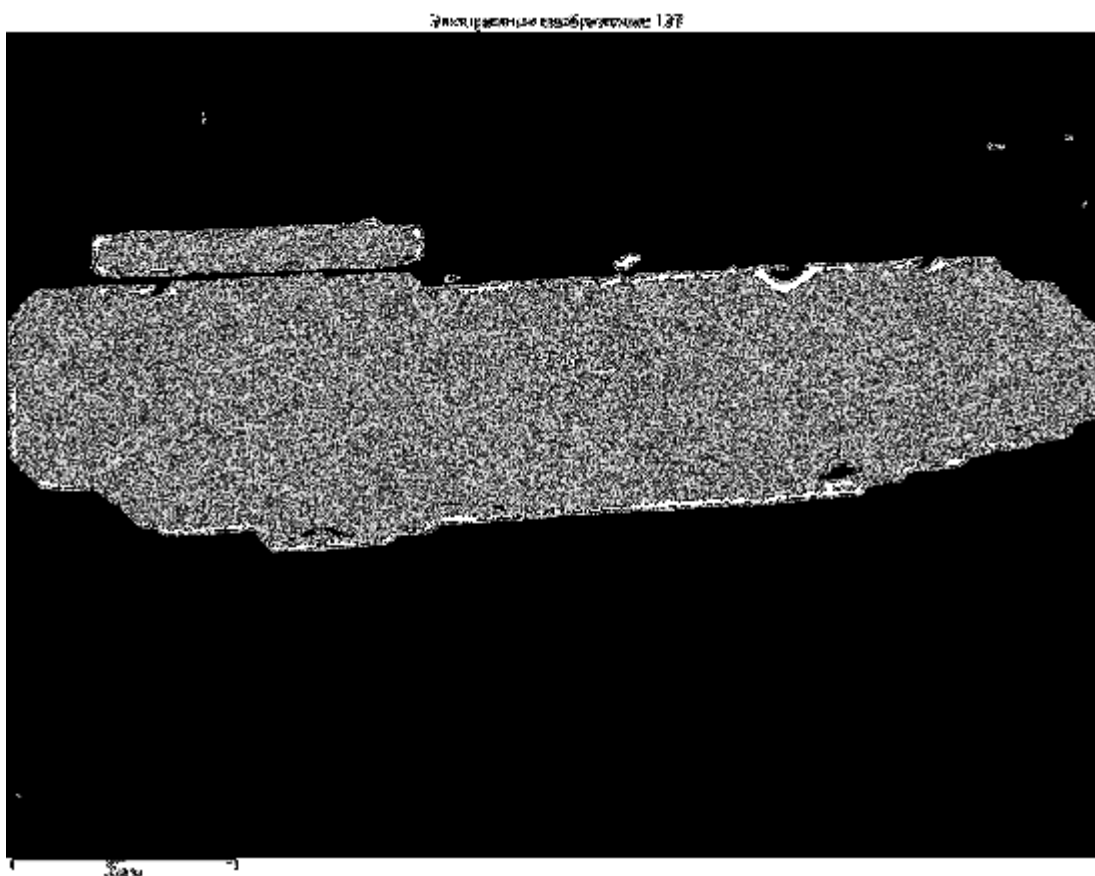


Рисунок 3.3. Зональность зерна эгирина. BSE-изображение.

Данная зональность, по всей видимости, обусловлена вариациями в содержании Zr, Mn, Ti, Al, Ca, Mg. Так, более светлые зоны отвечают увеличению содержания Zr, Ti, Mn, Na и уменьшению содержания Al, Ca, Mg, а более темные, соответственно, наоборот. Содержание элементов в атомных количествах представлено в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Содержания химических элементов в зональном зерне эгирина в атомных количествах

эл.\спек.	797	798	799
Si	0,880	0,878	0,865
Ti	0,035	0,046	0,054
Zr	0,001	0,001	0,014
Al	0,016	0,012	0,010
Fe ³⁺	0,152	0,163	0,160
Mn	0,003	0,004	0,011
Mg	0,080	0,046	0,035
Ca	0,065	0,027	0,021
Na	0,180	0,198	0,201

Типичная химическая формула эгирина (таб. 3.5) из щелочных пегматитов массива Кондер выглядит следующим образом:

- $(\text{Na}_{0,89}\text{Ca}_{0,07})_{0,96}(\text{Fe}_{0,77}\text{Mg}_{0,10}\text{Ti}_{0,08}\text{Al}_{0,05}\text{Mn}_{0,01})_{1,01}(\text{Si}_{2,00}\text{O}_{6,00})$ – спектр № 647

Таблица 3.4

Химический состав эгирина из Кондерского массива

мас.% \ №	647	650	653	687	716	731	743	763	765
SiO ₂	52,61	51,04	52,01	51,8	51,88	52,22	52,05	52,98	52,74
TiO ₂	2,66	6,69	3,24	3,58	2,91	2,96	3,53	2,52	2,8
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	1,22	1,02	1,33	1,27	1,37	1,35	1,13	1,48	1,51
Fe ₂ O ₃	26,81	23,71	26,07	25,61	27,06	24,39	25,47	27,51	26,68
MnO	0,26	0,48	0,25	0,32	-	0,29	0,25	0,33	0,3
MgO	1,74	2,02	1,89	2	1,54	2,73	1,82	1,69	1,88
CaO	1,72	1,4	1,33	1,63	1,42	2,79	1,56	1,54	1,66
Na ₂ O	12,03	11,84	12,3	11,95	12,29	11,59	12,14	12,15	12,38
Сумма	99,04	98,21	98,41	98,16	98,47	98,33	97,96	100,19	99,96

Продолжение таблицы 3.4

мас.% \ №	767	769	770	771	773	784	785	786	787
SiO ₂	52,79	54,81	52,31	52,06	52,45	53,21	51,81	53	52,75
TiO ₂	2,61	2,81	2,75	3,98	2,93	2,66	3,92	3,37	3,15
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	2,98	-	-
Al ₂ O ₃	1,54	1,84	1,32	1,3	1,39	1,36	0,82	1,32	1,2
Fe ₂ O ₃	27,8	23,01	26,58	24,87	26,83	24,25	25,43	26,13	27,33
MnO	-	0,49	0,28	-	-	0,34	0,79	0,29	-
MgO	1,51	3,57	1,68	2,26	1,73	3,24	1,21	1,8	1,81
CaO	1,25	3,98	1,69	1,56	1,63	3,76	1,04	1,64	1,73
Na ₂ O	12,38	11,69	12,37	11,93	12,12	11,45	12,53	12,43	12,37
Сумма	99,88	102,19	98,97	97,96	99,07	100,28	100,53	99,98	100,34

Продолжение таблицы 3.4

мас.% \ №	788	790	791	792	797	798	799	800
SiO ₂	52,88	52,51	52,47	52,76	52,86	52,73	51,99	52,1
TiO ₂	3,42	2,92	3,79	2,9	2,8	3,7	4,32	3,88
ZrO ₂	-	-	-	0,66	0,1	0,14	1,74	2,35
Al ₂ O ₃	1,26	1,36	1,41	1,07	1,59	1,24	0,98	0,87
Fe ₂ O ₃	22,73	27,33	25,68	22,84	24,28	25,99	25,63	25,33
MnO	0,27	-	-	0,26	0,21	0,29	0,78	0,91
MgO	3,61	1,62	1,76	3,8	3,21	1,86	1,43	1,49
CaO	4,4	1,69	1,54	4,88	3,65	1,53	1,17	1,25
Na ₂ O	10,85	11,98	12,43	10,86	11,16	12,3	12,46	12,23
Сумма	99,41	99,42	99,09	100,03	99,85	99,79	100,5	100,42

Таблица 3.5

Пересчет химического состава эгирина на формульные коэффициенты (на 3 атома
Si+Ti+Zr+Al+Fe+Mn+Mg)

Fc \ №	647	650	653	687	716	731	743	763	765
Si	2,00	1,95	1,98	1,98	1,99	1,99	2,00	1,98	1,98
Ti	0,08	0,19	0,09	0,10	0,08	0,08	0,10	0,07	0,08
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,07	0,07
Fe ³⁺	0,77	0,68	0,75	0,74	0,78	0,70	0,74	0,78	0,76
Mn	0,01	0,02	0,01	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	0,10	0,12	0,11	0,11	0,09	0,16	0,10	0,09	0,11
Ca	0,07	0,06	0,05	0,07	0,06	0,11	0,06	0,06	0,07
Na	0,89	0,88	0,91	0,89	0,91	0,86	0,90	0,88	0,90
O	6,00	6,00	5,99	5,99	6,01	6,00	6,01	5,98	5,99

Продолжение таблицы 3.5

Fc \ №	767	769	770	771	773	784	785	786	787
Si	1,99	2,00	1,99	1,99	1,99	1,99	1,97	2,00	1,98
Ti	0,07	0,08	0,08	0,11	0,08	0,07	0,11	0,10	0,09
Zr	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-
Al	0,07	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,06	0,05
Fe ³⁺	0,79	0,63	0,76	0,71	0,77	0,68	0,73	0,74	0,77
Mn	-	0,02	0,01	-	-	0,01	0,03	0,01	-
Mg	0,08	0,19	0,10	0,13	0,10	0,18	0,07	0,10	0,10
Ca	0,05	0,16	0,07	0,06	0,07	0,15	0,04	0,07	0,07
Na	0,90	0,83	0,91	0,88	0,89	0,83	0,93	0,91	0,90
O	5,99	6,00	6,01	5,99	6,00	6,00	6,03	6,01	6,01

Продолжение таблицы 3.5

Fc \ №	788	790	791	792	797	798	799	800
Si	1,99	1,99	1,99	1,99	1,98	1,99	1,97	1,97
Ti	0,10	0,08	0,11	0,08	0,08	0,10	0,12	0,11
Zr	-	-	-	0,01	-	-	0,03	0,04
Al	0,06	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06	0,04	0,04
Fe ³⁺	0,64	0,78	0,73	0,65	0,68	0,74	0,73	0,72
Mn	0,01	-	-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
Mg	0,20	0,09	0,10	0,21	0,18	0,10	0,08	0,08
Ca	0,18	0,07	0,06	0,20	0,15	0,06	0,05	0,05
Na	0,79	0,88	0,92	0,79	0,81	0,90	0,91	0,90
O	6,01	6,00	6,02	6,02	5,99	6,00	6,01	6,01

3.1.2. Альбит (*Albite*) - Na(AlSi₃O₈)

Как и эгирин, распространен во всех пегматитах Кондера, составляет около 35 – 40 процентов объема породы, являясь, таким образом, вместе с эгирином самым распространенным минералом.

Представлен одной морфологической разновидностью – светло-серой или белой мелкозернистой массой (зерна размером 0,5 – 5 миллиметров). Вероятно, кристаллизовался на конечных этапах минералообразования, а так же, на стадии гидротермальной переработки некоторых пород.

Диагностируется визуально, в шлифах (рис. 3.1., рис. 3.4), по результатам рентгенофазового анализа (таб.3.6). В шлифах - по характерным полисинтетическим двойникам, при помощи правила Мишель-Леви. Полученные значения колеблются в промежутке 0-10 градусов.

Исходя из таблицы 3.6 видно, что полученные по результатам рентгенофазового анализа пики однозначно коррелируются с данными из картотеки International Centre for Diffraction Data.

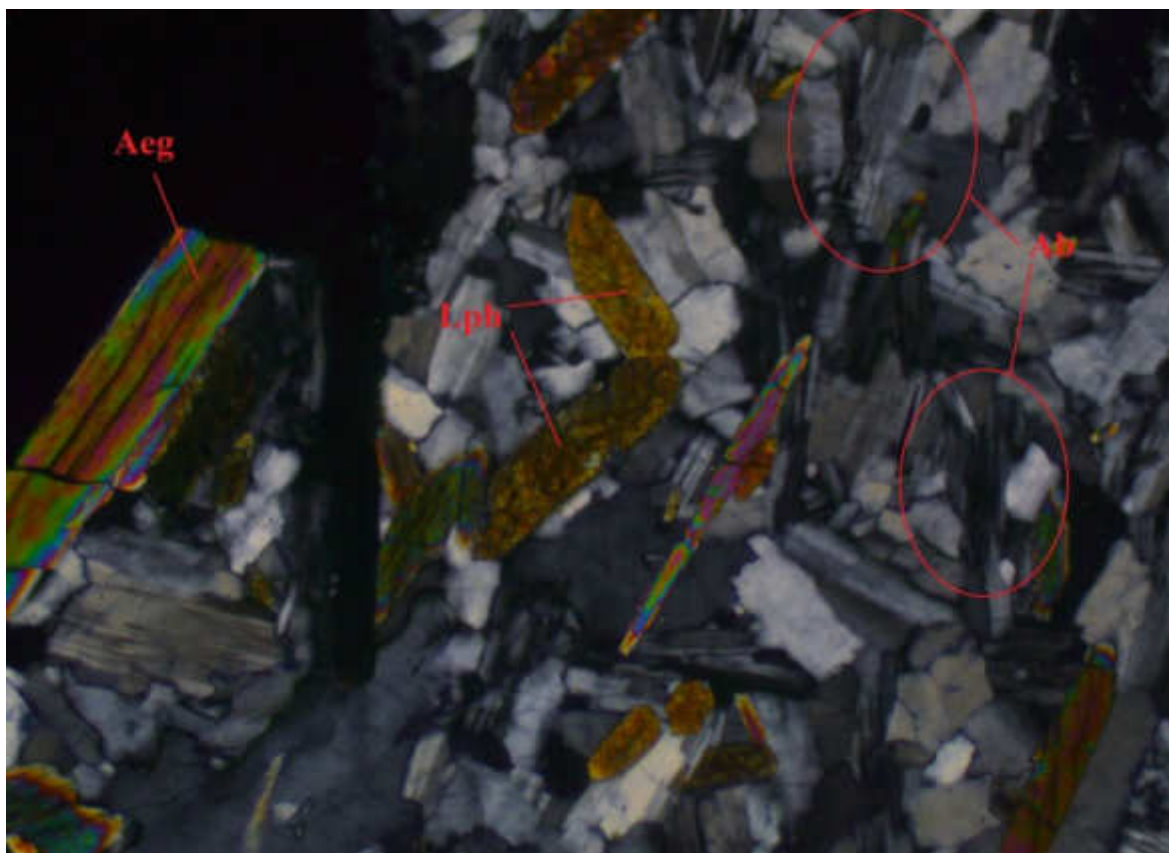


Рисунок 3.4. Эгирин (Aeg), лампрофиллит (Lph) и полисинтетические двойники альбита (Ab) в шлифе. Ширина изображения 1мм.

Химический состав альбита представлен в таблице 3.7. В целом он достаточно постоянен и соответствует химической формуле $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ (при пересчете на 4 атома Si+Al (таб. 3.6)). Присутствуют примеси Ca, Fe, K. Их содержания колеблются в пределах 0,1 – 0,5 масс. %.

Типичная химическая формула получена при пересчете состава на 4 атома Si+Al (таб. 3.8) и выглядит следующим образом:

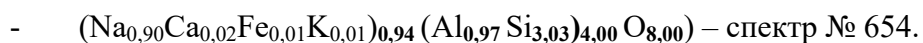


Таблица 3.6

Сравнение полученных данных РФА для альбита массива Кондер и образца базы
данных ICDD.

Исследуемый образец				PDF Card 00-009-0466					
№	2 θ	d(Å)	Intensity	2 θ	d(Å)	Intensity	h	k	l
1	13,848	6,390	1,14	13,847	6,390	20	0	0	1
2	14,912	5,936	1,61	14,902	5,940	2	-1	-1	1
3	22,000	4,037	2,07	22,038	4,030	16	-2	0	1
4	23,187	3,833	6,52	23,040	3,857	8	1	-1	1
5	23,540	3,776	1,6	23,516	3,780	25	1	1	1
6	24,325	3,656	3,34	24,138	3,684	20	1	3	0
7	25,541	3,485	21,7	25,546	3,484	2	-2	-2	1
8	26,394	3,374	10,39	26,386	3,375	8	-1	1	2
9	27,908	3,194	10,63	27,893	3,196	100	0	0	2
10	30,205	2,956	6,91	30,126	2,964	10	1	-3	1
11	30,740	2,906	6,47	30,452	2,933	16	0	-2	2
12	32,110	2,785	2,22	32,089	2,787	2	0	2	2
13	34,218	2,618	4,38	33,942	2,639	6	-1	3	2
14	34,865	2,571	2,56	34,980	2,563	8	-2	-4	1
15	35,573	2,522	2,58	35,336	2,538	2	-3	-1	2
16	36,948	2,431	2,09	36,758	2,443	4	-2	4	1
17	37,653	2,387	1,52	37,636	2,388	4	3	1	0
18	38,810	2,318	0,71	38,783	2,320	4	-3	-3	1
19	42,690	2,117	0,79	42,506	2,125	8	0	6	0
20	43,540	2,077	0,87	43,560	2,076	2	2	-4	1
21	44,521	2,033	1,88	44,484	2,035	2	2	4	1
22	45,528	1,991	2,18	45,305	2,000	2	2	0	2
23	47,080	1,929	1,26	47,123	1,927	2	2	-2	2
24	50,830	1,795	1,88	50,553	1,804	6	1	1	3
25	51,150	1,784	0,96	51,129	1,785	8	-2	0	4

Таблица 3.7

Химический состав альбита

мас.% \ №	639	642	651	654	704	705	706
SiO ₂	68,07	68,56	68,18	69,5	66,89	66,82	66
Al ₂ O ₃	19,43	19,42	19,39	18,88	18,98	18,9	18,8
FeO	-	-	0,42	0,29	0,25	0,25	0,49
CaO	-	-	-	0,46	-	-	-
Na ₂ O	11,14	11,2	11,32	10,66	11,1	10,83	10,48
K ₂ O	-	0,16	0,19	0,12	-	-	0,22
сумма	98,64	99,34	99,5	99,91	97,22	96,8	95,99

Продолжение таблицы 3.7

мас.% \ №	732	764	768	774	793	794	795
SiO ₂	66,91	68,67	68,55	68,34	68,11	68,38	67,74
Al ₂ O ₃	18,9	19,65	19,49	19,57	19,44	19,62	19,31
FeO	0,27	-	-	-	0,33	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-	-
Na ₂ O	10,76	11,17	11,13	11,15	11,24	11,04	11,14
K ₂ O	-	-	0,18	-	0,13	0,14	0,19
сумма	96,84	99,49	99,35	99,06	99,25	99,18	98,38

Таблица 3.8

Пересчет химического состава альбита в формульные коэффициенты (на 4 атома Si+Al).

Fc \ №	639	642	651	654	704	705	706
Si	2,99	3,00	3,00	3,03	3,00	3,00	2,99
Al	1,01	1,00	1,00	0,97	1,00	1,00	1,01
Fe ²⁺	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Ca	-	-	-	0,02	-	-	-
Na	0,95	0,95	0,96	0,90	0,96	0,94	0,92
K	-	0,01	0,01	0,01	-	-	0,01
O	7,97	7,98	8,01	8,00	7,99	7,98	7,99

Продолжение таблицы 3.8

Fc \ №	732	764	768	774	793	794	795
Si	3,00	2,99	3,00	2,99	2,99	2,99	2,99
Al	1,00	1,01	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01
Fe ²⁺	0,01	-	-	-	0,01	-	-
Ca	-	-	-	-	-	-	-
Na	0,94	0,94	0,94	0,95	0,96	0,94	0,95
K	-	-	0,01	-	0,01	0,01	0,01
O	7,98	7,97	7,97	7,97	8,00	7,97	7,98

3.1.3. Нефелин (*Nepheline*) - Na(AlSiO₄)

В отличие от альбита и эгирина, на макроуровне этот минерал представлен не во всех щелочных пегматитах Кондёрского массива. Тем не менее, в породах, содержащих нефелин, он является главным минералом.

Минерал легко определяется визуально в макроскопических выделениях, диагностика подтверждается результатами микрозондового анализа.

В различных пегматитах можно выделить несколько разновидностей нефелина. Наиболее яркая из них – крупные (до 5 х 3 см) субидiomорфные трещиноватые индивиды

желтовато-зеленого цвета. Они кристаллизуются одними из первых и составляют краевую часть жилы, развиваясь из зон геометрического отбора. Кристаллы направлены субперпендикулярно границе жилы к ее центральной части.

Другой разновидностью являются менее крупные также субидiomорфные кристаллы (ширина до 1-2 см) серого цвета. Такие индивиды расположены хаотично по объему породы, но основная масса все же тяготеет к центральным частям пегматита. Кристаллы часто изменённые, замещаются цеолитами и альбитом.

Так на микроуровне (Рис. 3.5) прослеживается замещение нефелина (Nph) анальцимом (Anl)

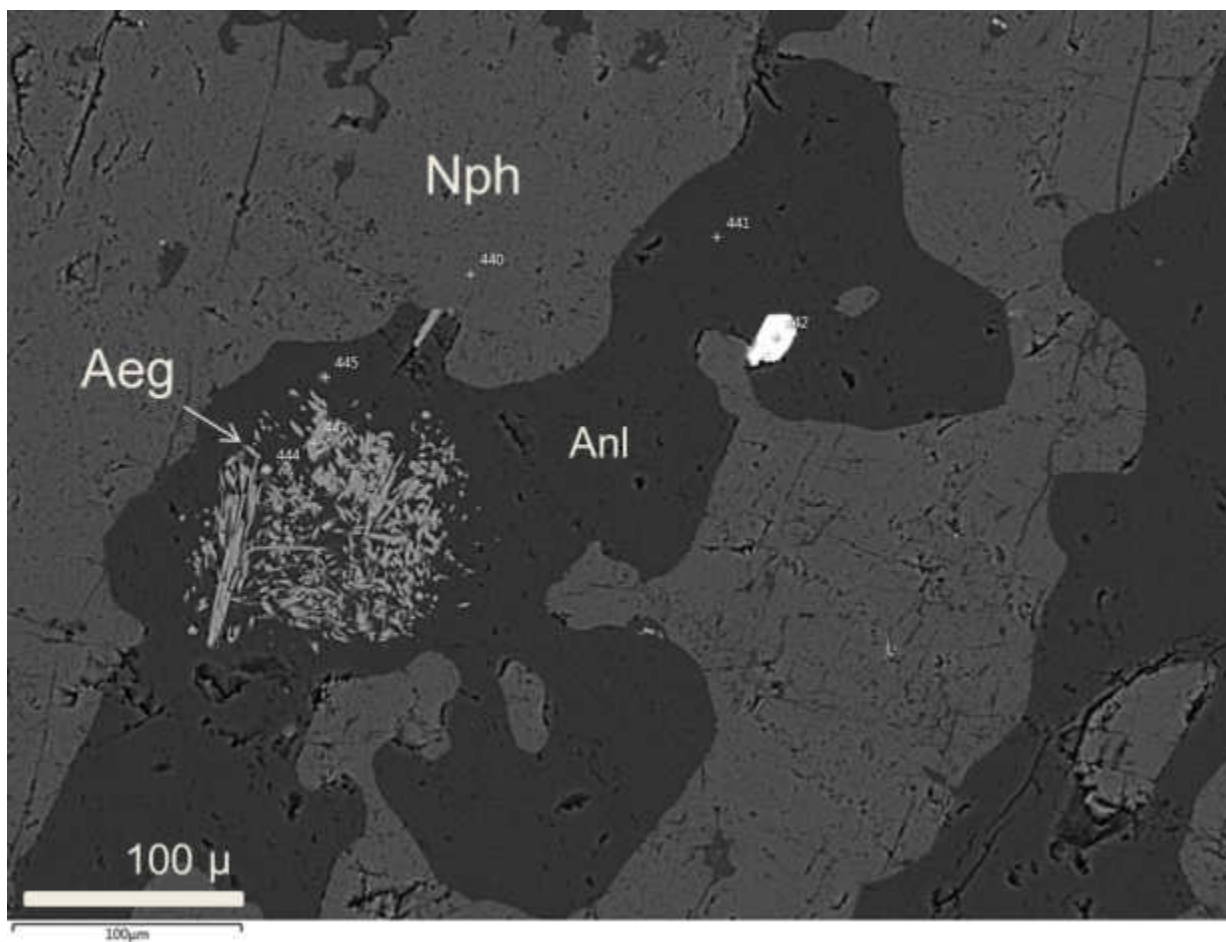
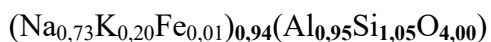


Рисунок 3.5 замещение нефелина (Nph) анальцимом (Anl)

Химический состав нефелина представлен в таблице 3.9. При пересчете химического состава в формульные коэффициенты (Таб. 3.10) на 2 атома кремния и алюминия упрощенная формула нефелина выглядит так:



Она полностью соответствует теоретической формуле минерала.

Таблица 3.9

Химический состав нефелина

мас.% \ №	408	412	417	419	445	453	440
SiO ₂	42,68	44,34	43,83	44,75	43,30	43,00	41,30
Al ₂ O ₃	32,53	32,80	32,38	33,09	34,50	32,70	33,12
FeO	0,42	0,43	0,59	0,44	-	0,39	-
CaO	-	-	0,65	-	-	-	-
Na ₂ O	14,31	15,64	15,14	16,16	15,50	15,25	14,65
K ₂ O	5,91	5,70	5,28	5,77	7,46	6,29	6,82
Сумма	95,85	98,91	97,87	100,21	100,75	97,63	95,89

Таблица 3.10

Пересчет химического состава альбита в формульные коэффициенты (на 2 атома Si+Al).

Fc \ №	408	412	417	419	445	453	440
Si	1,05	1,07	1,07	1,07	1,03	1,05	1,03
Al	0,95	0,93	0,93	0,93	0,97	0,95	0,97
Fe ²⁺	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Ca	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,68	0,73	0,72	0,75	0,72	0,73	0,71
K	0,19	0,18	0,16	0,18	0,23	0,20	0,22
O	3,97	4,00	4,01	4,01	3,99	4,00	3,98

3.1.4. Вишневит (*Vishnevite*) - Na₈(AlSiO₄)₆(SO₄) · 2H₂O

Это сульфатная разновидность канкринита, содержащая в своем составе до 1,98% серы. Вишневит является «эндемиком» вишневитовых пегматитов, где составляет основную массу породы – до 90%. Он не был встречен в других породах Кондёрского массива. Являясь, наиболее поздним образованием, кристаллизовавшимся по нефелину и другим ранним минералам, он образует скрытокристаллические массивные агрегаты синего до голубовато-синего и голубого цветов (Рис. 3.7). На микроуровне (Рис. 3.8) он образует блочные, трещиноватые агрегаты, в которых наблюдаются редкие реликты первичной породы, представленные нефелином. В вишневите отмечена рассеянная сульфидная минерализация – борнит, халькопирит и пирит (Рис. 3.9). Эти минералы встречаются в заметном количестве, образуя одиночные выделения.

Диагностика минерала – визуальная, подтверждается энергодисперсионным микроанализом (таб. 3.11).

Несомненно, описанный минерал требует дальнейшего, более глубокого изучения.

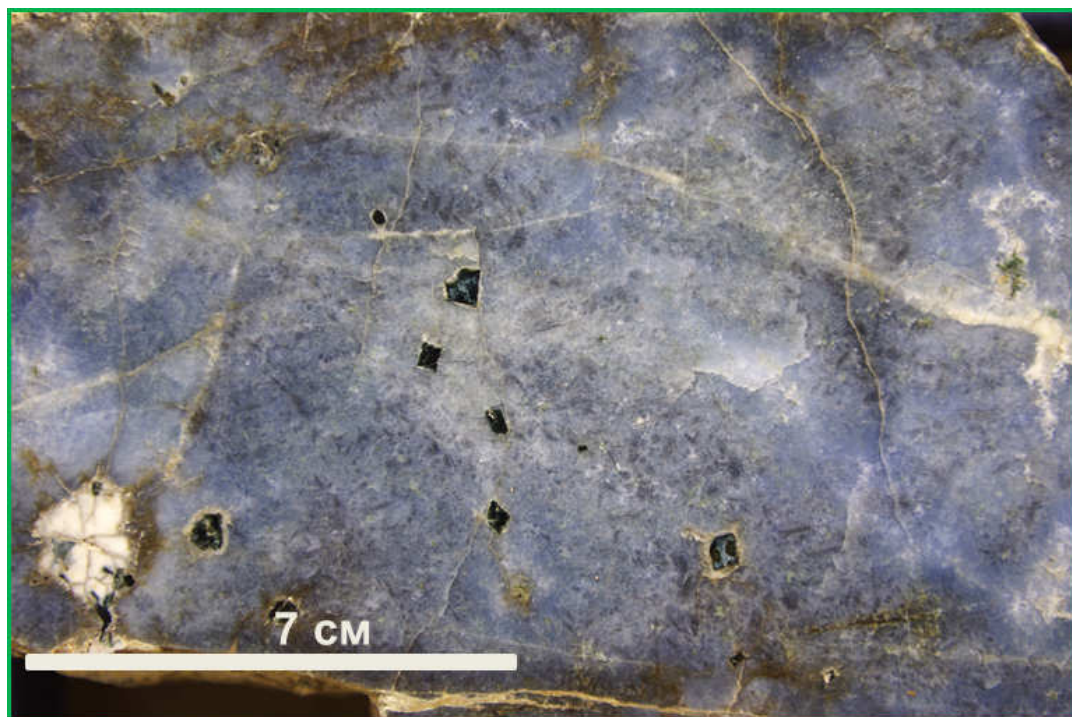


Рисунок 3.7. Агрегат вишневиты в породе

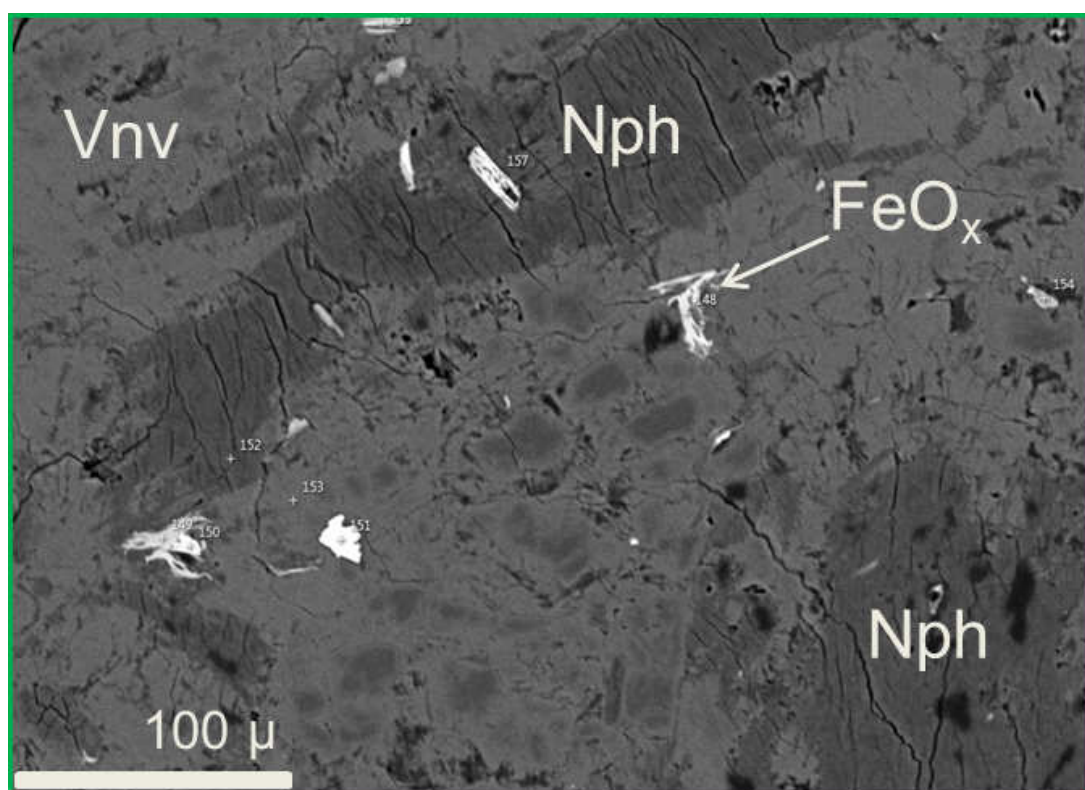


Рисунок 3.8 Реликты нефелина (Nph) и гидроокислы железа (FeO_x) в массе вишневиты (Vnv)

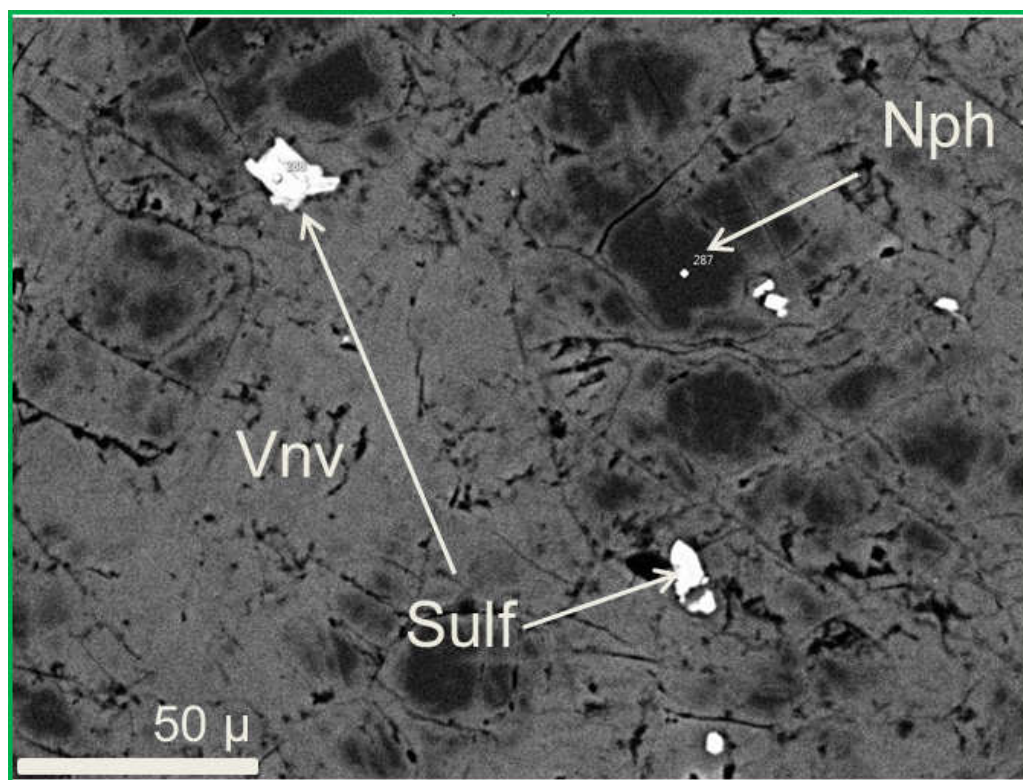


Рисунок 3.9. Сульфидная минерализация (Sulf) в вишневите

Таблица 3.11

Химический состав вишневита

Ат.к.% \ №	153	160	166	171	193	198
O	58,05	58,27	58,21	58,03	57,33	57,17
Si	10,57	10,79	11,01	10,55	10,39	10,38
Al	10,27	10,65	10,78	10,49	10,22	10,42
Ca	-	0,17	0,16	-	-	-
Mg	-	-	-	0,65	-	-
Na	12,52	17,8	17,79	11,74	13,14	12,97
K	7,13	0,52	0,08	7,02	7,29	7,54
S	1,47	1,8	1,98	1,52	1,63	1,52
Сумма	100	100	100	100	100	100

3.2. Второстепенные минералы

В этом разделе описаны минералы, которые, хотя и не являются основными слагающими породы, тем не менее, занимают значительное место в объёме пегматита (5-15%). Кроме того, некоторые из них могут служить относительным классификационным признаком, например - эвдиалит, который встречается только в одном типе щелочных пегматитов.

- 3.2.1. - Лампрофиллит (*Lamprophyllite*) – $\text{Na}_2\text{Sr}_2\text{Ti}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_2(\text{OH})_2$
- Баритолампрофиллит (*Barytolamprophyllite*) – $\text{KNa}_3\text{Ba}_2\text{Ti}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_4$

Присутствует в большинстве щелочных пегматитов в различных количествах. Диагностируется визуально, в шлифах, порошковым рентгенофазовым анализом и энергодисперсионным микроанализом. Цвет минерала - от золотисто – коричневого до золотистого, на плоскостях спайности цвет темно – бурый. Блеск стеклянный, редко матовый. Хрупкий, имеет совершенную спайность по удлинению.

В шлифе (Рис. 3.4) минерал имеет высокий рельеф, светло-коричневый цвет, относится к 6-7 группе Лодочникова.

Всего в щелочных пегматитах Кондёрского массива можно выделить три морфологических разновидности лампрофиллита. В пегматитах сиенитов лампрофиллит образует вытянутые длиннопризматические субидiomорфные кристаллы. Они достигают 7-8 сантиметров по удлинению и 2 см в ширину. Как правило, такие кристаллы более темные, нежели другие разновидности, часто имеют выветрелый облик. Вероятно, эти индивиды кристаллизовались на начальных стадиях образования пегматита. Стоит отметить, что такой лампрофиллит имеет наиболее разнообразный химический состав. Здесь наблюдаются как исключительно стронциевые индивиды (спектры №59, 65, 68, 73, 88 (Таб. 3.14)), так и обогащенные барием разновидности (спектры №74, 138, 139, 145, 147 (Таб. 3.14)). Некоторые же составы являются барий-доминантными (спектры №60, 66, 67, 86, 142 (Таб. 3.12)). Таким образом, можно говорить о присутствии в породе другом минерального вида группы лампрофиллита – баритолампрофиллита (Рис. 3.10). Последний образует прорастания по раннему, стронциевому лампрофиллиту, кристаллизуясь, вероятно, на поздних стадиях становления породы.

Другой разновидностью, встречающейся в пегматитах нефелиновых сиенитов, являются длиннопризматические пластинчатые кристаллы, размер по удлинению – до 5-6 см, ширина редко превышает 0,5-0,8 см. Они часто образуют радиально лучистые

агрегаты. Такие кристаллы имеют золотистый отлив и неизменённый облик. Так же, как и предыдущая разновидность, кристаллизовался на ранних стадиях минералообразования.

Третьей разновидностью лампрофиллита являются одиночные мелкие кристаллы (не более 1-1,5 см), хаотично распределенные в массе мелкозернистого альбита. Они так же имеют бурый цвет с золотистым отливом, однако, несколько более блеклые, нежели ранее описанные пластинчатые агрегаты. Такие кристаллы встречены в большинстве щелочных пегматитов, исключение составляют пегматиты иолит-уртитов и вишневитовые пегматиты. Вероятно, эта разновидность кристаллизовалась на поздних стадиях минералообразования непосредственно перед кристаллизацией альбита.

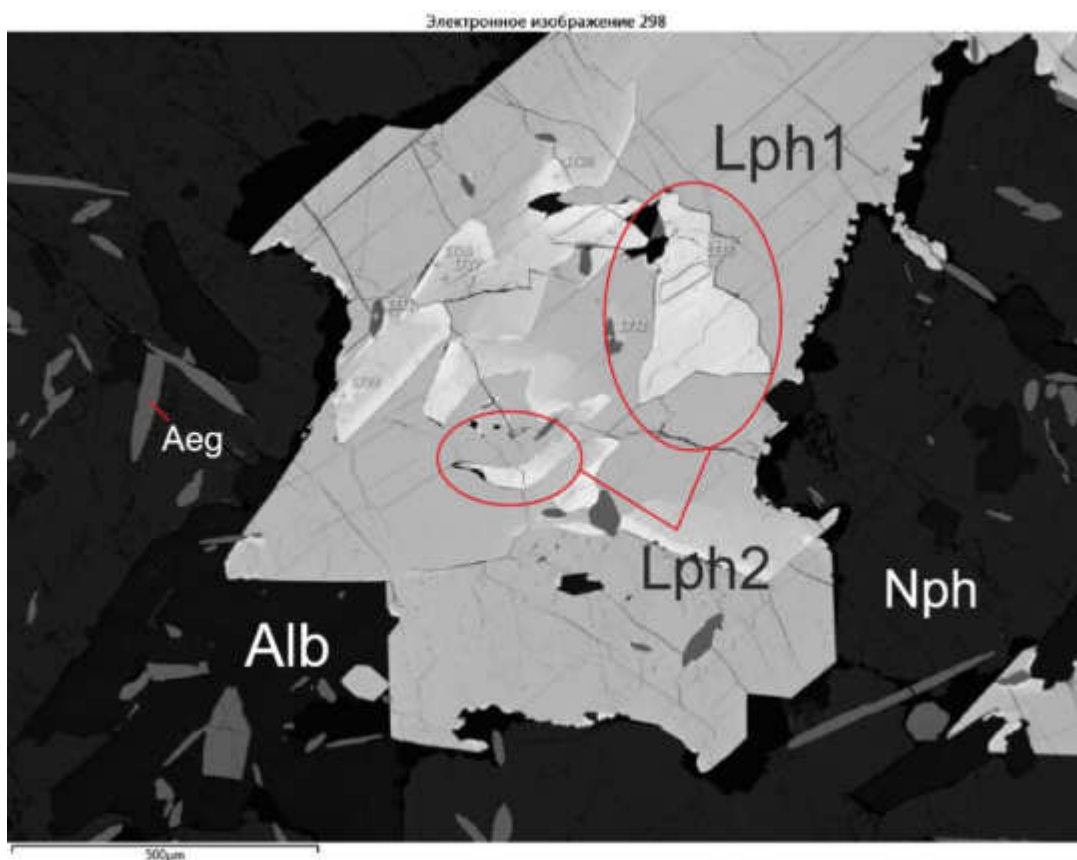


Рисунок 3.10. Зоны баритолампрофиллита (Lph-2) в кристалле лампрофиллита (Lph-1)

Как было сказано выше, минерал диагностируется как по внешнему облику, так и по результатам рентгенофазового анализа: полученные данные коррелируются с данными из картотеки International Centre for Diffraction Data (Табл. 3.16), однако, могут несколько отличаться от них ввиду различий в составе минералов и наложения пиков других фаз.

Исходя из таблиц 3.12 – 3.15 можно сделать вывод, что, формально, в породах Кондёра присутствует два минеральных вида – стронциевый лампрофиллит, в котором содержание стронция резко доминирует над содержанием бария и баритолампрофиллит, в

котором содержания стронция несколько ниже содержаний бария. В целом, химический состав лампрофиллита довольно постоянен, наблюдаются незначительные содержания Mn, K, Ca, Fe²⁺ и Mg.

Таблица 3.12

Химический состав баритолампрофиллита Кондерского массива.

мас.% \ №	60	66	67	86	142
SiO ₂	24,13	23,92	23,52	23,64	23,93
TiO ₂	34,20	33,07	34,51	34,07	33,40
FeO	0,46	0,58	0,45	0,60	0,47
MnO	1,33	0,92	0,93	0,96	0,96
MgO	0,00	0,00	0,00	0,39	0,37
SrO	9,69	7,74	10,36	10,27	10,03
CaO	0,00	0,30	0,32	0,31	0,32
BaO	15,84	19,20	15,92	15,60	16,03
Na ₂ O	13,53	13,36	13,26	13,40	13,74
K ₂ O	0,83	0,92	0,72	0,75	0,75
Сумма	100,01	100,01	99,99	99,99	100,00

Таблица 3.13

Пересчет химического состава баритолампрофиллита на формульные коэффициенты (на 4 атома Si).

Fc \ №	60	66	67	86	142
Si	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Ti	4,26	4,16	4,42	4,34	4,20
Fe ²⁺	0,06	0,08	0,06	0,08	0,07
Mn	0,19	0,13	0,13	0,14	0,14
Mg	0,00	0,00	0,00	0,10	0,09
Sr	0,93	0,75	1,02	1,01	0,97
Ca	0,00	0,05	0,06	0,06	0,06
Ba	1,03	1,26	1,06	1,03	1,05
Na	1,48	1,63	1,39	1,34	1,51
K	0,04	0,01	0,08	0,04	0,02
O	19,50	19,40	19,82	19,74	19,52

Таблица 3.14

Химический состав стронциевого лампрофиллита Кондерского массива

мас.% \ №	59	65	68	73	74	88	138	139	147	145
SiO ₂	24,50	25,59	24,85	25,07	23,44	24,66	24,07	24,16	24,35	24,35
TiO ₂	35,92	35,60	34,80	36,36	33,50	35,92	33,75	33,50	33,69	33,34
FeO	0,92	1,49	0,96	1,22	0,00	1,02	0,51	0,43	0,71	0,60
MnO	1,55	1,65	1,86	1,60	0,85	1,49	0,88	0,87	1,23	1,74
MgO	0,64	0,80	0,67	0,59	0,29	0,45	0,00	0,00	0,41	0,39
SrO	18,85	19,06	19,50	18,91	12,11	18,94	11,00	12,56	11,24	16,96
CaO	0,69	0,62	0,48	0,57	0,00	0,57	0,00	0,26	0,00	0,41
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	13,46	0,00	15,06	13,26	13,82	5,12
Na ₂ O	14,62	14,74	14,37	15,10	13,92	14,75	14,00	14,40	13,78	14,60
K ₂ O	0,42	0,45	0,48	0,58	0,50	0,54	0,74	0,56	0,77	0,62
Сумма	98,11	100,00	97,97	100,00	98,07	98,34	100,01	100,00	100,00	98,13

Таблица 3.15

Пересчет химического состава стронциевого лампрофиллита на формульные коэффициенты (на 4 атома Si)

Fc \ №	59	65	68	73	74	88	138	139	147	145
Si	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Ti	4,41	4,19	4,21	4,36	4,30	4,38	4,22	4,17	4,16	4,12
Fe ²⁺	0,13	0,19	0,13	0,16	0,00	0,14	0,07	0,06	0,10	0,08
Mn	0,21	0,22	0,25	0,22	0,12	0,20	0,12	0,12	0,17	0,24
Mg	0,16	0,19	0,16	0,14	0,07	0,11	0,00	0,00	0,10	0,10
Sr	1,78	1,73	1,82	1,75	1,20	1,78	1,06	1,21	1,07	1,62
Ca	0,12	0,10	0,08	0,10	0,00	0,10	0,00	0,05	0,00	0,07
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	0,98	0,86	0,89	0,33
Na	1,09	1,21	1,24	1,12	1,50	1,17	1,59	1,65	1,47	1,46
K	0,22	0,27	0,18	0,25	0,10	0,22	0,04	0,07	0,04	0,05
O	19,88	19,55	19,59	19,78	19,60	19,79	19,45	19,43	19,41	19,43

Таблица 3.16

Сравнение полученных данных РФА лампрофиллита Кондерского массива и образца базы
данных ICDD

Полученные данные			PDF Card №01-085-1136					
2 θ	d(Å)	Intensity	2 θ	d(Å)	Intensity	h	k	l
9,192	9,614	3,64	9,131	9,677	6,80	2	0	0
18,579	4,772	0,79	18,585	4,770	4,00	3	1	0
20,826	4,262	1,06	20,866	4,254	4,00	-1	1	1
21,627	4,106	0,36	21,717	4,089	8,20	1	1	1
23,337	3,809	0,33	23,276	3,818	2,00	-4	0	1
23,883	3,723	2,94	23,871	3,725	33,40	-3	1	1
26,090	3,413	3,60	26,066	3,416	29,60	3	1	1
26,343	3,380	5,92	26,212	3,397	25,40	5	1	0
27,848	3,201	100,00	27,631	3,226	46,50	6	0	0
29,762	3,000	5,01	29,639	3,011	27,10	-5	1	1
30,803	2,900	3,16	30,612	2,918	8,50	-6	0	1
31,410	2,846	0,94	31,265	2,859	11,10	4	2	0
32,243	2,774	5,75	32,229	2,775	99,90	2	2	1
32,753	2,732	6,27	32,626	2,742	21,90	5	1	1
33,628	2,663	1,59	33,676	2,659	31,40	-2	0	2
34,243	2,617	3,40	34,075	2,629	6,20	6	0	1
34,556	2,594	1,86	34,505	2,597	27,10	-4	2	1
36,365	2,469	0,92	36,395	2,467	9,10	-4	0	2
37,271	2,411	2,22	37,011	2,427	5,90	-3	1	2
37,902	2,372	0,54	37,682	2,385	3,60	6	2	0
40,766	2,212	0,54	40,695	2,215	1,00	-5	1	2
41,342	2,182	0,85	41,204	2,189	5,10	-6	0	2
42,289	2,135	1,42	42,307	2,135	1,10	0	2	2
44,342	2,041	10,62	44,267	2,044	4,80	2	2	2
45,056	2,011	1,28	44,920	2,016	14,40	5	3	0
46,320	1,959	1,68	46,552	1,949	3,30	6	0	2
47,339	1,919	2,79	47,589	1,909	1,60	-8	0	2
47,837	1,900	0,30	48,036	1,892	1,40	-10	0	1
49,479	1,841	1,99	49,221	1,850	1,20	5	3	1
50,475	1,807	1,15	50,232	1,815	3,80	8	2	1
51,018	1,789	0,88	50,797	1,796	6,60	7	3	0
51,582	1,770	0,80	51,547	1,772	19,20	0	4	0
52,014	1,757	1,07	52,065	1,755	0,00	10	0	1
52,502	1,742	0,76	52,480	1,742	1,10	-4	0	3
54,196	1,691	0,22	54,465	1,683	0,80	-11	1	1
54,940	1,670	3,14	55,168	1,664	3,00	-10	0	2
55,560	1,653	1,61	55,648	1,650	5,50	-5	1	3
57,585	1,599	2,06	57,612	1,599	2,00	-12	0	1
58,232	1,583	0,23	58,539	1,575	4,20	11	1	1
58,990	1,565	4,79	58,987	1,565	2,50	5	3	2

Продолжение таблицы 3.16

59,873	1,544	0,37	59,744	1,547	0,90	2	2	3
62,261	1,490	0,63	62,186	1,492	3,00	-6	2	3
62,713	1,480	1,02	62,874	1,477	3,90	0	4	2
64,419	1,445	6,42	64,374	1,446	1,40	2	4	2
64,790	1,438	1,62	64,633	1,441	6,80	7	3	2
65,875	1,417	0,41	65,589	1,422	5,00	-9	3	2
66,610	1,403	0,38	66,472	1,405	0,90	-8	4	1
68,409	1,370	7,80	68,456	1,369	7,00	11	1	2

3.2.2. Микроклин (*Microcline*) - $K(AlSi_3O_8)$

Распространен в большинстве щелочных пегматитов Кондёра и составляет до 3 – 5 процентов объема породы.

В пегматитах нефелиновых сиенитов встречается в виде небольших зерен (до 1 сантиметра), приурочен к краевым зонам жилы и к существенно альбитовым зонам. Зерна часто выветрелые.

В эвдиалитсодержащих эгирин-альбитовых пегматитах присутствует в виде зерен различного размера – от 1 до 5-7 см, чаще крупных. Ясно видна совершенная спайность.

Крупное выделение микроклина из эгирин-альбитовых пегматитов было проанализировано методом порошкового рентгенофазового анализа. Как видно исходя из таблицы 3.17, результаты РФА образца хорошо коррелируется с образцом 00-019-0926 из базы данных International Centre for Diffraction Data. Кроме того, методом монокристалльного рентгеноструктурного анализа были уточнены параметры элементарной ячейки $a=7,22\text{\AA}$; $b=7,51\text{\AA}$; $c=7,82\text{\AA}$.

Химический состав ортоклаза представлен в таблице 3.18. Как видно – он соответствует общей формуле $K(AlSi_3O_8)$. При пересчете химического состава на формульные коэффициенты (Таб. 3.19) на 4 атома Al+Si получается следующая химическая формула: $(K_{0,95}Na_{0,04})_{0,99}Al_{1,00}Si_{3,00}O_{8,00}$

Таблица 3.17

Сравнение данных РФА микроклина Кондерского массива и образца из базы данных ICDD.

Исследуемый образец				PDF Card 00-019-0926					
№	2 θ	d(Å)	Intensity	2 θ	d(Å)	Intensity	h	k	l
1	13,578	6,516	2,8	13,654	6,480	8,0	0	2	0
2	14,849	5,961	1,8	14,902	5,940	6,0	-1	-1	1
3	21,004	4,226	11,9	21,034	4,220	100,0	-2	0	1
4	22,283	3,986	5,6	22,262	3,990	8,0	1	1	1
5	22,588	3,933	2,4	22,665	3,920	4,0	1	-1	1
6	23,037	3,857	10,1	23,022	3,860	8,0	2	0	0
7	23,891	3,721	9,4	24,032	3,700	40,0	1	-3	0
8	24,264	3,665	19,0	24,299	3,660	10,0	-1	-3	1
9	25,559	3,482	13,8	25,651	3,470	20,0	-1	1	2
10	26,404	3,373	16,1	26,426	3,370	40,0	2	2	0
11	26,974	3,303	11,3	27,080	3,290	60,0	-2	0	2
12	27,419	3,250	70,1	27,334	3,260	80,0	2	-2	0
13	29,430	3,032	7,2	29,455	3,030	14,0	1	3	1
14	30,122	2,964	21,4	30,095	2,967	8,0	-2	-2	2
15	30,673	2,912	7,2	30,731	2,907	18,0	0	4	1
16	34,220	2,618	5,5	34,182	2,621	20,0	-2	-4	1
18	34,580	2,592	1,9	34,645	2,587	12,0	-3	1	2
19	34,942	2,566	8,2	34,882	2,570	4,0	1	1	2
20	35,420	2,532	4,1	35,307	2,540	4,0	3	1	0
21	36,860	2,437	3,9	36,915	2,433	12,0	-1	-5	1
22	38,480	2,338	1,9	38,506	2,336	6,0	-3	3	1
23	41,791	2,160	12,8	41,805	2,159	30,0	0	6	0
24	42,665	2,117	3,0	42,653	2,118	4,0	-4	0	1
25	43,543	2,077	2,6	43,560	2,076	2,0	2	0	2
26	44,488	2,035	2,0	44,553	2,032	4,0	-4	-2	2
27	45,540	1,990	2,3	45,497	1,992	4,0	2	2	2
28	47,100	1,928	2,6	47,123	1,927	8,0	4	0	0
29	48,124	1,889	4,2	48,049	1,892	2,0	-2	6	1
30	49,167	1,852	2,7	49,154	1,852	2,0	2	-6	0
31	49,838	1,828	4,5	49,843	1,828	2,0	-2	-6	2
32	50,535	1,805	13,1	50,523	1,805	18,0	-2	0	4
33	50,875	1,793	3,4	50,885	1,793	6,0	0	-4	3

Таблица 3.18

.Химический состав ортоклаза из щелочных пегматитов Кондерского массива

мас.% \ №	406	476	484	533	603	501
SiO ₂	62,63	65,12	65,71	61,4	56,38	63,41
Al ₂ O ₃	18,86	18,72	18,63	17,57	16,44	17,67
FeO	-	-	-	-	-	0,28
Na ₂ O	0,79	0,66	0,43	0,53	0,47	0,6
MgO	0,46	-	-	-	-	-
K ₂ O	14,68	15,93	16,39	15,5	14,12	15,35
Сумма	97,41	100,43	101,16	95	87,41	97,32

Таблица 3.19

Пересчет химического состава ортоклаза на формульные коэффициенты (на 4 атома Si+Al)

Fc \ №	406	476	484	533	603	501
Si	2,95	2,99	3,00	2,99	2,98	3,01
Al	1,05	1,01	1,00	1,01	1,02	0,99
Fe ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Na	0,07	0,06	0,04	0,05	0,05	0,06
Mg	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,88	0,93	0,95	0,96	0,95	0,93
O	7,99	7,99	8,00	8,00	7,99	8,01

3.2.3. Титанит (*Titanite*) - CaTi(SiO₄)O

Встречается в эгирин-альбитовых пегматитах в виде единичных кристаллов, занимая при этом не более 1 процента объема породы. На микроуровне образует прорастания в индивидах лампрофиллита (Рис. 3.12) Морфологически – это некрупные, вытянутые зерна размером до полутора сантиметров в длину и около полусантиметра шириной. Иногда несут следы выветривания.

Диагностируется визуально, по результатам микрозондового анализа (Таб. 3.20) и в шлифах (рис. 3.11).

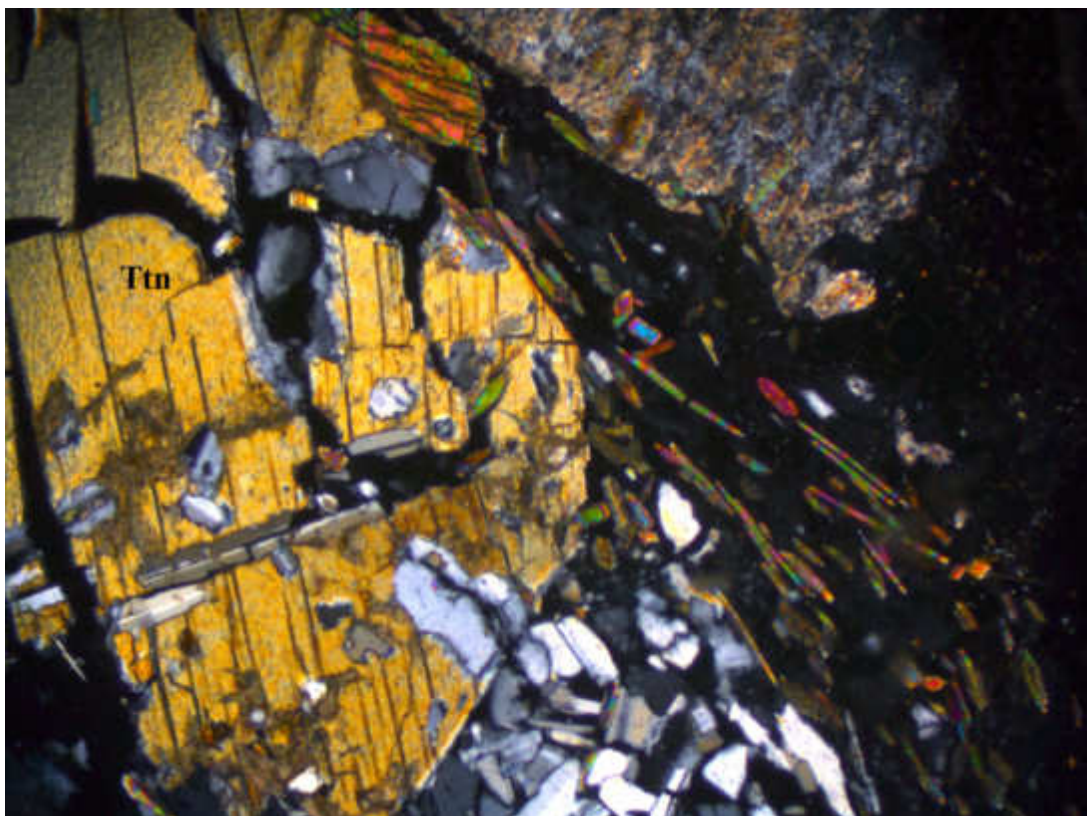


Рисунок 3.11. Кристалл титанита (Ttn) в шлифе. Ширина изображения 2мм.

По всей видимости, титанит относится к относительно ранним образованиям пегматитов, кристаллизуясь на пегматитовом этапе становления породы.

Химический состав минерала представлен в таблице 3.17. Он был пересчитан в формульные коэффициенты на 5 атомов кислорода. Исходя из таблиц 3.17 – 3.18 можно сказать, что состав титанита отвечает его химической формуле $\text{CaTi}(\text{SiO}_4)\text{O}$, за исключением небольшой примеси железа, магния и марганца. Отметим так же высокие содержания алюминия (до 8,88 мас.% Al_2O_3) при некотором дефиците титана.

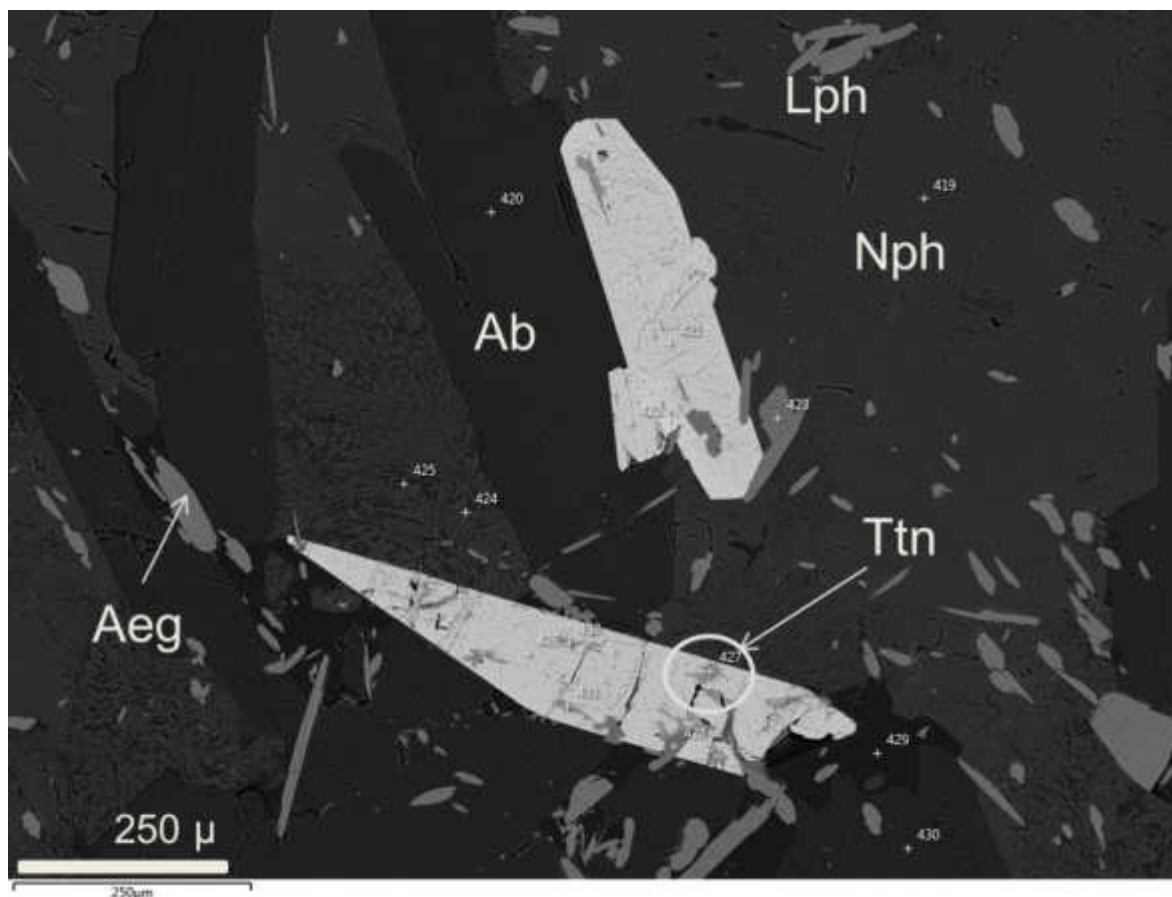


Рисунок 3.12. BSE-изображение. Прорастания титанита (Ttn) в зерне лампрофиллита (Lph)

Таблица 3.17

.Химический состав титанита из щелочных пегматитов Кондерского массива.

мас.% \ №	427	431	432	449	457
SiO_2	30,99	30,71	30,76	31,57	31,92
TiO_2	31,6	35,93	34,74	26,84	29,3
Al_2O_3	4,03	0,82	1,05	8,88	6,97
FeO	1,3	1,6	2,14	-	0,56
MnO	-	-	-	-	0,55
MgO	0,34	0,57	0,42	-	0,33
CaO	26,9	26,89	27,1	28,14	27,59
Сумма	95,16	96,51	96,21	95,43	97,23

Пересчет химического состава титанита в формульные коэффициенты на 5 атомов кислорода

Fc \ №	427	431	432	449	457
Si	1,05	1,04	1,05	1,06	1,06
Ti	0,81	0,91	0,89	0,68	0,73
Al	0,16	0,03	0,04	0,35	0,27
Fe	0,04	0,05	0,06	0,00	0,02
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Mg	0,02	0,03	0,02	0,00	0,02
Ca	0,98	0,97	0,99	1,01	0,98
O	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00

3.2.4. Эвдиалит (*Eudyalite*) - $\text{Na}_{12}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)_2(\text{Si}_9\text{O}_{24}(\text{OH})_3)_2$

Эвдиалит встречается только в пегматитах эгирин-альбитового состава и составляет около 10-15 процентов объема породы.

Этот минерал является одним из наиболее интересных образований щелочных пород Кондёрского массива. Это обусловлено несколькими факторами. Во-первых, описанный эвдиалит имеет необычный для минералов своей группы химический состав. Во-вторых, он концентрирует вокруг своих индивидов большое число различных фосфатов, силикатов и карбонатов стронция, редкоземельных элементов и иттрия.

Наблюдается в виде отдельных субидiomорфных кристаллов, но чаще образует группы зерен (рис. 3.13). В таких группах, как правило, присутствует несколько крупных индивидов (3 – 5 сантиметров), окруженных большим количеством более мелких выделений (0,5 – 1,5 сантиметра).

Кристаллы имеют малиновую окраску разной интенсивности, хрупкие, спайность – отсутствует; мелкие осколки – полупрозрачные. В шлифе эвдиалит, как и в образцах, имеет насыщенную малиновую окраску и проявляет сильный плеохроизм от малинового (по оси N_p) до бледно-розового (по оси N_g) (рис. 3.14). Схема плеохроизма $N_p > N_g$, оптически положительный.

Однако присутствуют зерна, в которых плеохроизм не наблюдается – они имеют бледно-розовую окраску. В скрещенных николях окраска меняется от темно-серого (просветление) до черного (погасание).

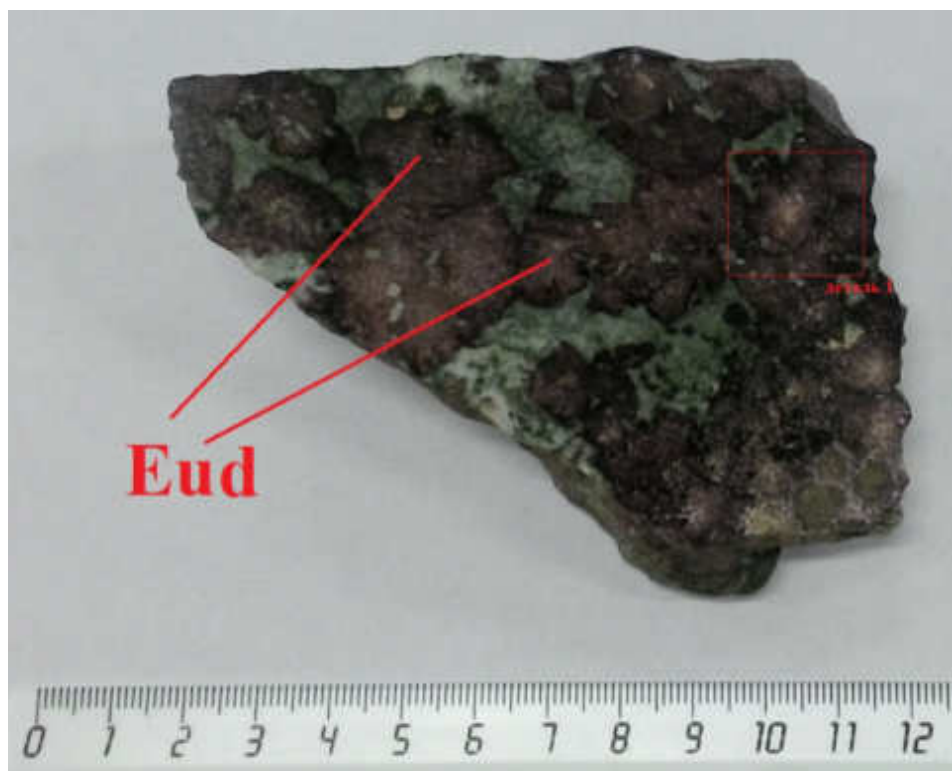


Рисунок 3.13. Зерна эвдиалита (Eud) в эгирин - альбитовой массе.

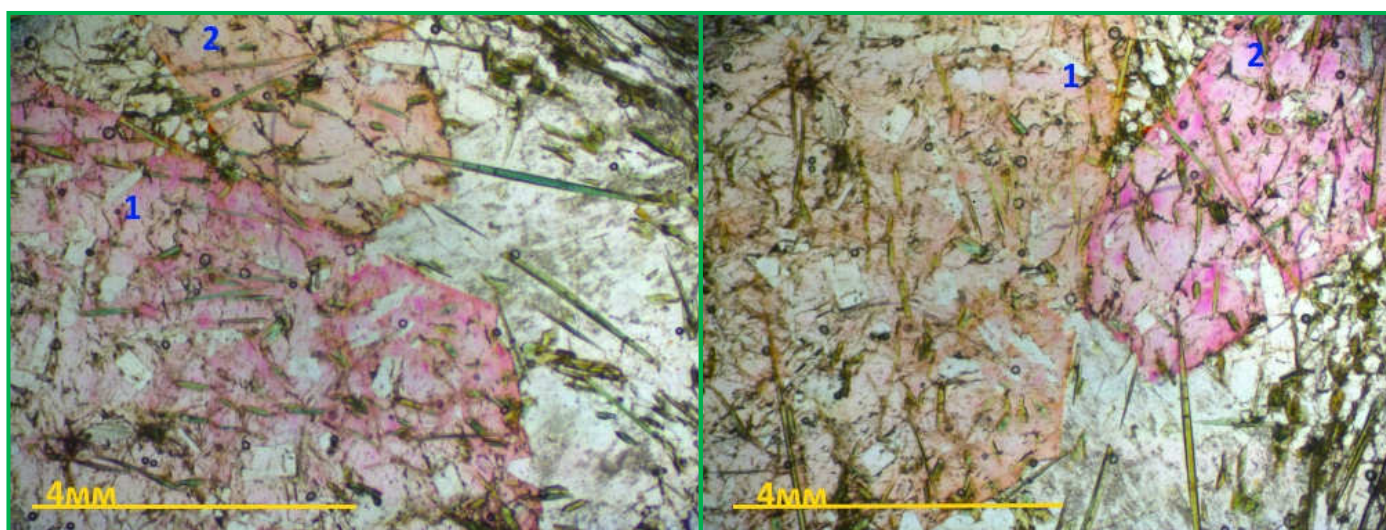


Рисунок 3.14. Зерна эвдиалита (1 и 2) в шлифе в проходящем свете в начальном положении и при повороте на 90 градусов. Ясно различим плеохроизм.

Кристаллам и зернам эвдиалита свойственна концентрическая зональность двух типов. Первый тип – макроскопическая зональность, которая образована скоплениями минеральных включений, приуроченных к зонами роста кристалла (Рис. 3.15. а,б). Ее формируют обособления кальциокатаплевита и альбит. К этим участкам также приурочены

выделения редких минералов – бобтрайлита, стилвеллита-(Ce), перклевеита-(Ce), кайнозита-(Y), эльпидита, стронадельфита, кальциокатаплеита, ксенотима-(Y), монацита-(Ce) и некоторых других. Отметим, что эгирин и отдельные зерна альбита в образовании зональности не участвуют.

Второй тип зональности различим исключительно при наблюдении под электронным микроскопом – это хаотичное чередование различных по BSE-контрасту зон (Рис. 3.16). По нашим данным, осцилляционная зональность является следствием определенных вариаций химического состава минерала.

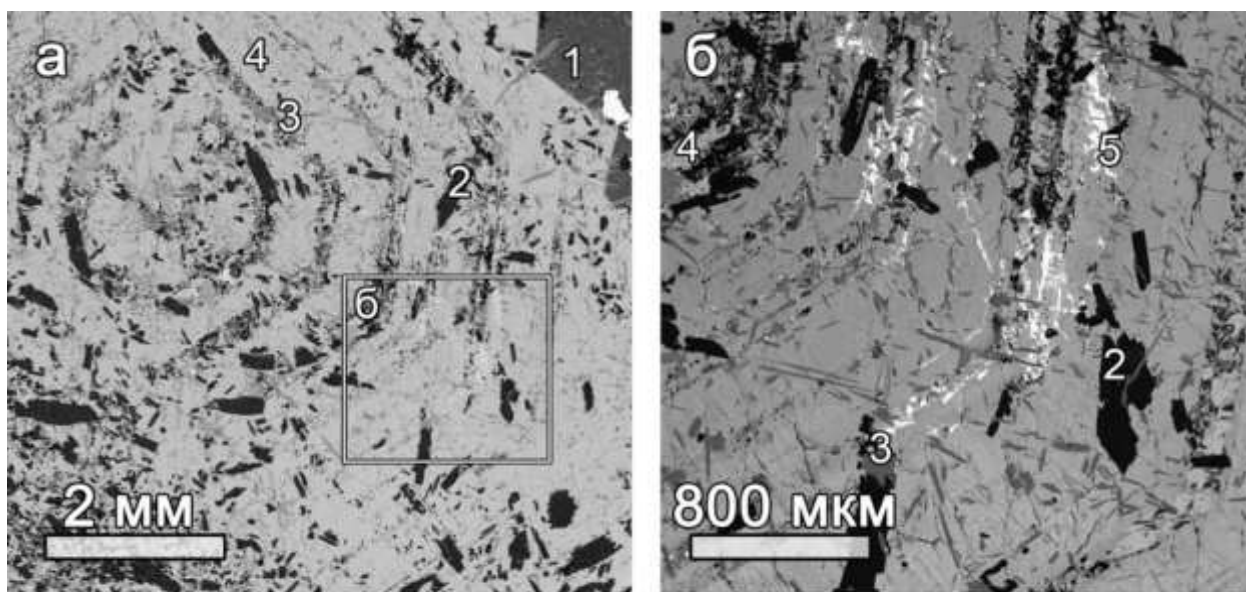


Рисунок 3.15. Зональное зерно гидратированного карбонатсодержащего аналога манганозвдиалита (а) (4); отдельные зоны (б), образованы скоплениями включений: альбита (1), (2), эгирина (3), перклевеита-(Ce) и кайнозита-(Y) (5), приуроченных к зонам роста кристалла.

Она была проанализирована при помощи энерго-дисперсионного микроанализа.

Применительно к минералам группы эвдиалита такой анализ дает не достаточно точные результаты при определении редкоземельных и некоторых других элементов. Тем не менее, для общего установления причин зональности он подходит.

В таблице 3.19. представлены результаты анализа химического состава эвдиалита для рисунков 3.16 и 3.17.

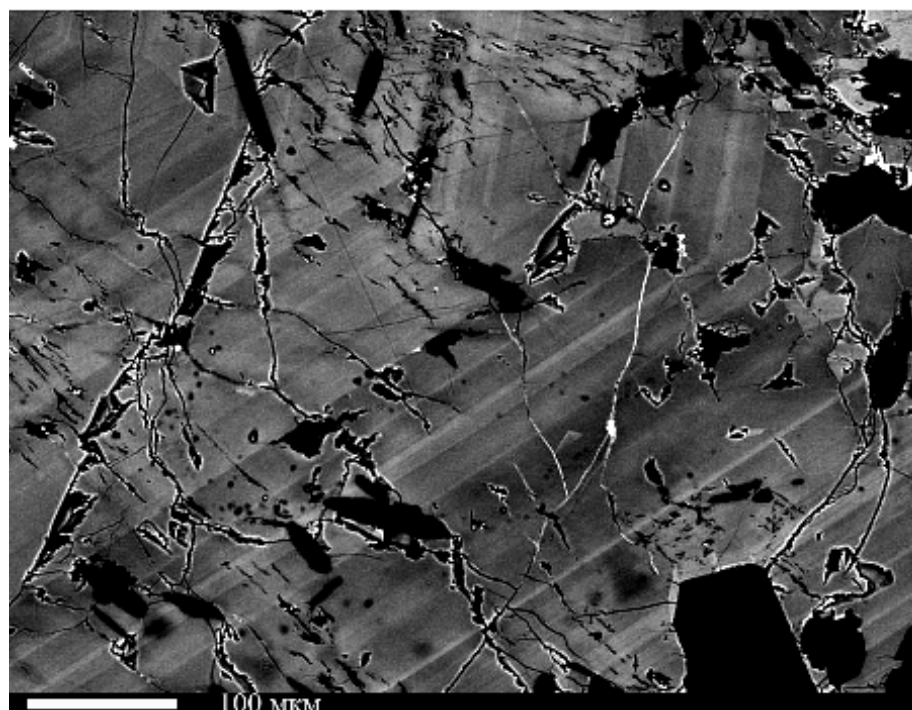


Рисунок 3.16. Осцилляционная зональность зерна эвдиалита, связанная с колебаниями химического состава минерала.



Рисунок 3.17. Проанализированный участок осцилляционной зональности минерала.

Таблица 3.19

Химический состав различных по контрасту зон (Рис. 3.17)

мас.%\ №	746	747	748
Nb ₂ O ₅	1,13	1,43	-
SiO ₂	48,32	48,53	49,68
TiO ₂	-	0,66	0,77
ZrO ₂	10,88	10,93	11,45
Al ₂ O ₃	0,71	0,76	0,87
Ce ₂ O ₃	-	0,94	1,03
MnO	3,87	3,76	3,46
SrO	3,19	2,70	1,8
CaO	9,82	10,05	11,04
PbO	1,94	1,66	1,29
Na ₂ O	3,83	4,41	3,26
K ₂ O	0,69	0,67	0,9
Сумма	84,38	86,50	85,55

По данным таблицы видно, что среди компонентов минерала можно отметить тенденцию к увеличению содержания титана, церия и алюминия от более светлых зон к более темным, и уменьшению содержания свинца, стронция и марганца. Однако, эти колебания не слишком велики, чтобы оказывать столь резкое влияние на контраст.

По всей видимости, в формировании данной зональности так же участвуют легкие компоненты, относительно высокое количество которых в составе эвдиалита подтверждается данными ИК-спектроскопии (Рис. 3.18). Так, наличие полос при 1420sh, 1504 отвечает валентным колебаниям C–O в CO₃²⁻ группе. Полоса при 1650 см⁻¹ соответствует деформационным колебаниям Н–О–Н связи. Широкие полосы при 2970sh, 3240sh, 3480 см⁻¹ отнесены к валентным колебаниям О–Н связи.

На ИК-спектрограмме эвдиалита также отмечены колебания, отвечающие другим структурным элементам минерала. Полосы поглощения 455s и 475s см⁻¹ относятся к деформационным колебаниям связи Si–O и Si–O–Si. Полосы 655 и 740s см⁻¹ отнесены к смешанным модам колебаний в Si₃O₉ и Si₉O₂₇ циклах. Полоса 925s отвечает асимметричным валентным колебаниям Me–O в позициях М3 и М4. Полосы 1010s и 1145 см⁻¹ соответствуют валентным колебаниям Si–O в кольцах Si₃O₉ и Si₉O₂₇. Отнесение полос выполнено в соответствии с систематическими исследованиями минералов группы эвдиалита (Расцветаева и др., 2012).

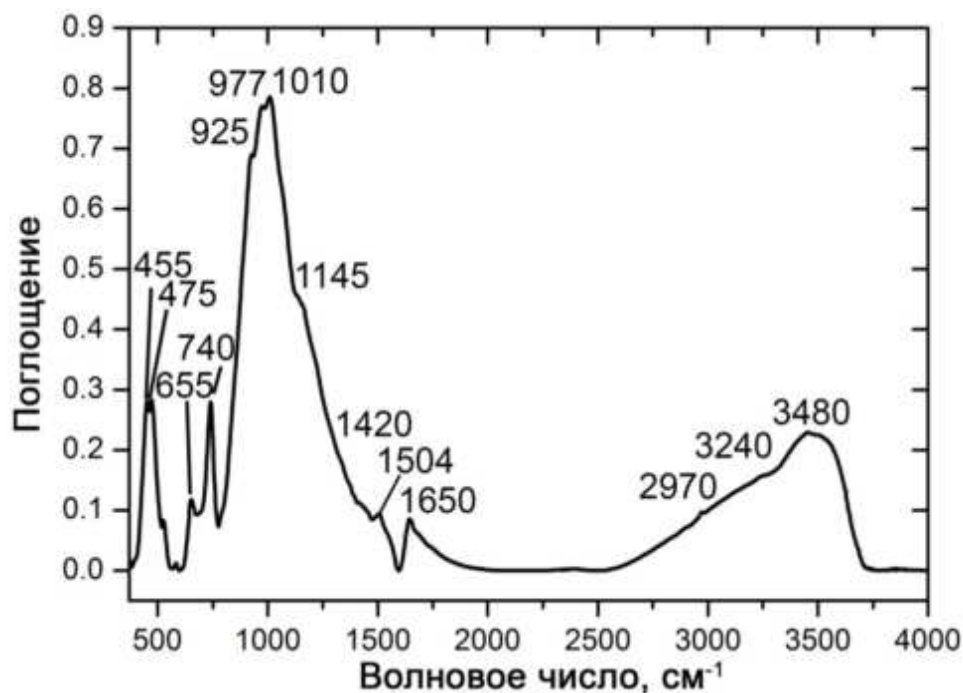
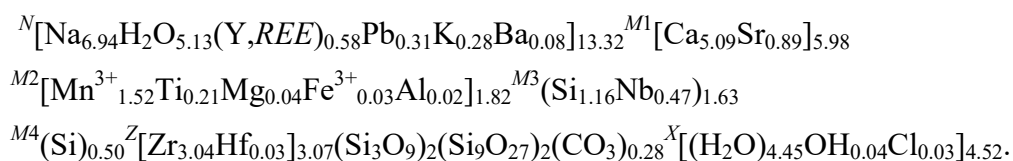


Рисунок 3.18. ИК-спектрограмма Кондёрского эвдиалита

Для исследования химического состава эвдиалита Кондёрского массива был применен более точный волновой дисперсионный анализ. Он проводился в Музее Естественной Истории, Лондон на оборудовании Cameca-100. Полученные данные представлены в таблице 3.20.

Получено четыре локальных состава минерала, по две точки в двух зернах (Рис. 3.19). В целом, состав минерала по набору главных компонентов и их содержаниям достаточно постоянен и соответствует гидратированному карбонатсодержащему аналогу манганозэвдиалита. Кристаллохимическая формула, рассчитанная согласно структурным данным на 25.66 атомов Si с помощью программы Minal, может быть записана следующим образом:



Содержание H₂O и CO₂ рассчитано исходя из дефицита суммы, а их присутствие подтверждено данными ИК-спектроскопии.

Стоит также отметить аномально низкое содержание натрия (5.2-7.8 мас.% Na₂O) и хлора (0.03-0.04 мас.%), а также относительно высокое содержание свинца (до 2.41 мас.% PbO).

В работе Р.К. Расцветаевой с соавторами упоминается об эвдиалитах, содержащих до 4 мас. % PbO (Расцветаева и др., 2012). Однако, конкретных аналитических данных по свинецсодержащим минералам группы эвдиалита в литературе нам найти не удалось. По-видимому, изоморфная примесь свинца в данных минералах является весьма экзотической.

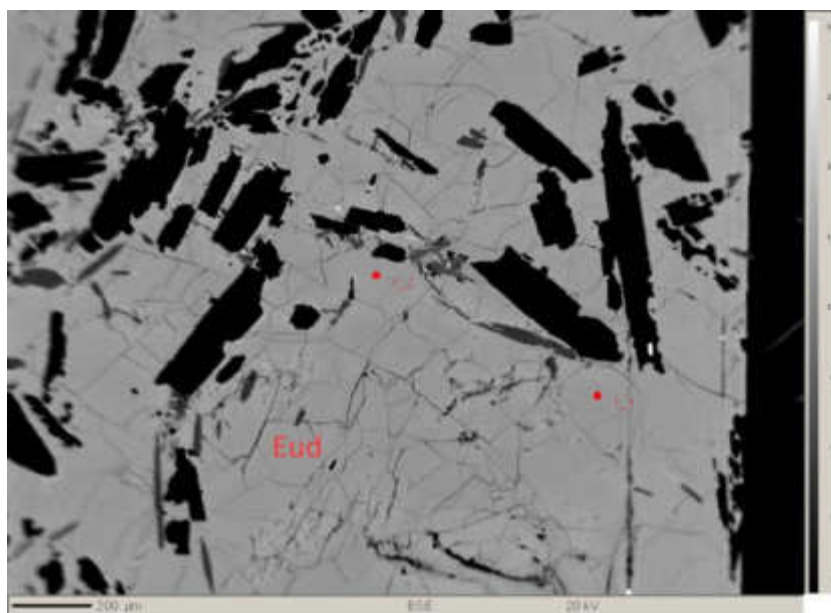


Рис. 3.19. BSE-изображение. Точки отбора спектров для таблицы 3.20 (обр.1.)

Результаты волнового электронно-зондового микроанализа эвдиалита

Мас. %	обр.1. 1/1	обр.1. 1/2	обр.2. 1/1	обр.2. 1/2
Ta ₂ O ₅	0,02	0,01	0,03	0,02
Nb ₂ O ₅	1,01	1,12	1,50	1,67
SiO ₂	50,99	50,66	49,63	49,23
TiO ₂	0,49	0,41	0,58	0,74
ZrO ₂	12,46	12,71	12,1	11,7
HfO ₂	0,23	0,24	0,19	0,16
Al ₂ O ₃	0,03	-	0,04	-
Fe ₂ O ₃	0,09	0,08	0,09	0,08
Y ₂ O ₃	0,75	0,68	0,46	0,36
La ₂ O ₃	0,38	0,63	0,62	0,73
Ce ₂ O ₃	0,79	1,16	1,05	1,33
Pr ₂ O ₃	0,01	0,02	0,02	0,08
Nd ₂ O ₃	0,28	0,40	0,31	0,40
Sm ₂ O ₃	0,04	0,03	0,04	0,03
Gd ₂ O ₃	0,04	0,04	-	-
Dy ₂ O ₃	0,14	0,10	0,06	0,07
Er ₂ O ₃	0,11	0,08	0,04	0,01
Yb ₂ O ₃	0,09	0,06	0,01	-
MnO	3,60	3,70	3,99	4,35
MgO	0,04	0,06	0,05	0,05
SrO	2,77	2,59	3,29	3,35
CaO	9,45	9,10	9,36	9,18
BaO	0,45	0,41	0,38	0,31
PbO	2,41	2,32	2,22	2,06
Na ₂ O	7,18	5,17	7,80	7,83
K ₂ O	0,45	0,64	0,30	0,32
Cl	0,04	0,04	0,04	0,03
Total	94,33	92,46	94,18	94,08

Учитывая необычные морфологические особенности эвдиалита и химический состав, было решено провести исследование структуры минерала. Анализ проводился в РЦ СПбГУ Рентгенодифракционные методы исследования вещества, аналитик – Золоторев А.А. мл. Уточнение структуры выполнено Паниковским Т.Л.

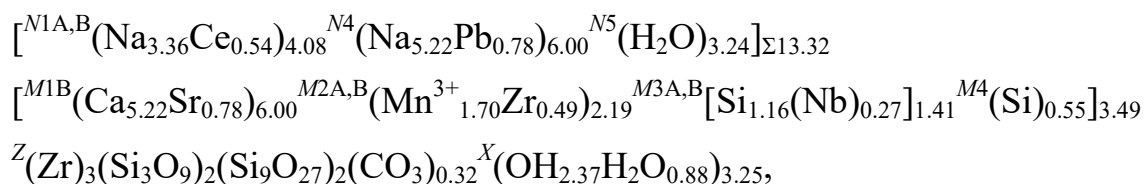
Кристаллическая структура рассматриваемого образца была уточнена в пространственной группе $R\bar{3}m$ для 1393 независимых рефлексов с фактором сходимости $R1 = 6.5\%$ ($a = 14.243(3)$, $c = 30.371(6)$ Å, $V = 5336(2)$ Å³). В основе уточнения была взята модель 12-ти слойного эвдиалита ($c \sim 30$ Å) с симметрией $R\bar{3}m$, приведённого в работе (Johnsen and Grice, 1999), с добавлением малозаселённых позиций воды и углерода.

Названия катионных позиций приведены в соответствии с рекомендациями современной номенклатуры МГЭ (Johnsen et al., 2003).

Как и большинство минералов группы, рассматриваемый эвдиалит (Рис. 3.20 а) состоит из тетраэдрических колец (Si₉O₂₇) и (Si₃O₉) образующих Т слой, объединённые по общим вершинам с Z(1) (Z-слой), M(1B) и M(2A,B) октаэдрами (М-слой) в гетерополиэдрический трехмерный каркас, в котором девятичленные кольца центрированы M(4) тетраэдрами с заселённостью (Si)_{0.25}. Вышеупомянутые слои чередуются вдоль оси с и находятся в ...ZTMT... последовательности, образуя 12-ти слойную структуру.

В полостях и каналах каркаса располагаются внекаркасные катионы и различные анионные группировки. Позиции атомов CO₃ группы как и в карбокентбруксите (Хомяков и др, 2003) располагаются в пустотах М-слоя (Рис. 3.20 б), состоящего из шестичленных октаэдрических колец M(1B) позиций, заполненных кальцием и стронцием (Ca_{0.87}Sr_{0.13})_{1.00} и объединенных по общим рёбрам с октаэдрами позиций M(2A) с заселенностью (Mn)_{0.57} и M(2B) с заселенностью (Zr)_{0.08}. Позиции N(1) (Рис. 3.20 а,в) расщеплены на N(1A) и N(1B), их уточнённая заселенность составила (Na_{0.41}Ce_{0.09})_{0.50} и (Na)_{0.18} соответственно. Важной особенностью изученной структуры является заполнение позиции N(5) молекулами воды (в большинстве МГЭ заселена катионами Na⁺). На рисунке 4в показана координация катионов марганца M(2A) и натрия N(4), в координационную сферу которых входит N(5) позиция. Расстояния M(2A)–N(5) и N(4)–N(5) составляют 2.433 и 2.554 Å соответственно, что полностью исключает присутствие натрия в данной позиции. Относительное удлинение Mn–O (M(2A)–N(5)) связи (2.433 Å) по отношению к остальным четырем атомам кислорода (2.119 Å) M(2A)O₆ октаэдра, а также относительное увеличение изотропного параметра тепловых смещений для N(5) позиции, являются характерными признаками присутствия молекулярной воды. Позиции на оси третьего порядка M(3) расщеплены на M3A и M3B, а их заселённости составили (Si)_{0.58} и (Nb)_{0.14} соответственно.

Структурная формула изученного гидратированного карбонатсодержащего аналога манганозвдиалита может быть следующим образом:



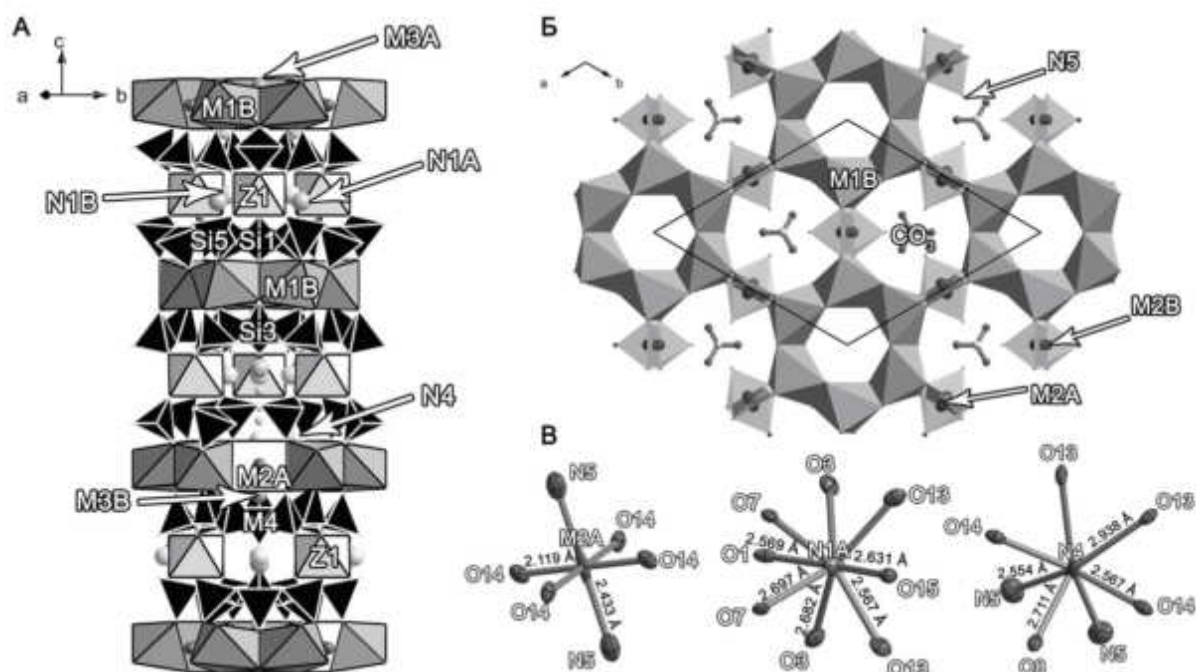


Рисунок 3.20. Графическое изображение структуры Кондёрского эвдиалита

что с учётом близости атомных факторов рассеяния Na и молекул H₂O находится в хорошем согласии с данными микронзондового анализа и ИК-спектроскопии. Соотношение OH / H₂O в X позициях в структурной формуле рассчитано исходя из требований электронейтральности формулы.

Хотя исследуемый минерал и имеет в целом характерные для эвдиалитов морфологию, химический состав и структуру, некоторые его особенности вполне индивидуальны.

Так, изученный манганоевдиалит содержит экзотичные для собственно эвдиалита элементы (С, Pb и др.) и, наоборот, дефицитен в отношении типичных для него Cl и Na. Наличие чётко выраженных признаков изменения минерала позволяют полагать, что на ранних стадиях (собственно пегматитовых) кристаллизовался нормальный, «высоконатриевый» эвдиалит, который затем подвергся гидротермальной «переработке» с выносом натрия и хлора, гидратации с привносом путем природного ионного обмена свинца, бария и карбонат-иона.

Разупорядоченный характер большинства внекаркасных катионных и анионных позиций свидетельствуют в пользу ионообменных процессов, осуществляемых уже в твердой фазе. Подобно илюхиниту (Чуканов и др, 2016), аквалиту (Хомяков и др. 2007) и другим гидратированным разновидностям минералов группы эвдиалита, рассматриваемый катионодефицитный манганоевдиалит имеет увеличенный по

сравнению с типичными эвдиалитами параметр с. Наиболее вероятно, что рассматриваемый минерал является промежуточным звеном в ряду манганозэвдиалит → илюхинит, но его нельзя отнести ни к одному из утвержденных минералов этой группы (Johnsen et al., 2003).

Если опираться на справочник Т. Г. Петрова и Н. И. Красновой (2010), этот состав также уникален и выпадает из учтённых в нем анализов эвдиалита по высокому содержанию Н. По числу главных элементов в формуле он попадает в восьми-десяти-компонентные системы по В. Г. Кривовичеву и М. В. Чарыковой (2013), в которых находится большинство других минералов группы эвдиалита. Ранговая формула эвдиалита из Кондёра (по 10 элементам): O H Si Na Ca Zr Mn Sr Pb REELa. По главным химическим элементам в его составе минерал формально может быть отнесен к Ca-Mn химическому типу эвдиалитов (Bulakh, Petrov, 2004, с. 6), но со значительными содержаниями Н и Pb, или же вместе с аквалитом и икранитом к Н химическому типу (Bulakh, Petrov, 2004, с. 4).

Совокупность полученных данных свидетельствует о уникальности рассматриваемого минерала и позволяет поставить вопрос об утверждении в качестве нового минерального вида.

3.3. Редкие минералы

Такие минералы встречаются в щелочных пегматитах Кондёра в мелких (не более 300 мкм) выделениях и различимы только под электронным микроскопом. Диагностика, в виду их небольших размеров проводилась только методом энергодисперсионного и волнодисперсионного микроанализов, учитывая морфологию выделений и ассоциацию. Большинство описанных в этом разделе минералов обнаружено только в жилах эгирин-альбитового состава.

3.3.1. Кальциокатаплеит (*Calciocatapleiite*) – $\text{CaZr}(\text{Si}_3\text{O}_9) \cdot \text{H}_2\text{O}$

Этот силикат наиболее распространен среди других минералов группы редкие. Он образуется по эвдиалиту, часто полностью замещая центральную часть зерна, а также заполняет полости и трещины в ближайших к центру зонах. Он образует как сплошные массы, так и субидиоморфные таблитчатые кристаллы (Рис. 3.21)

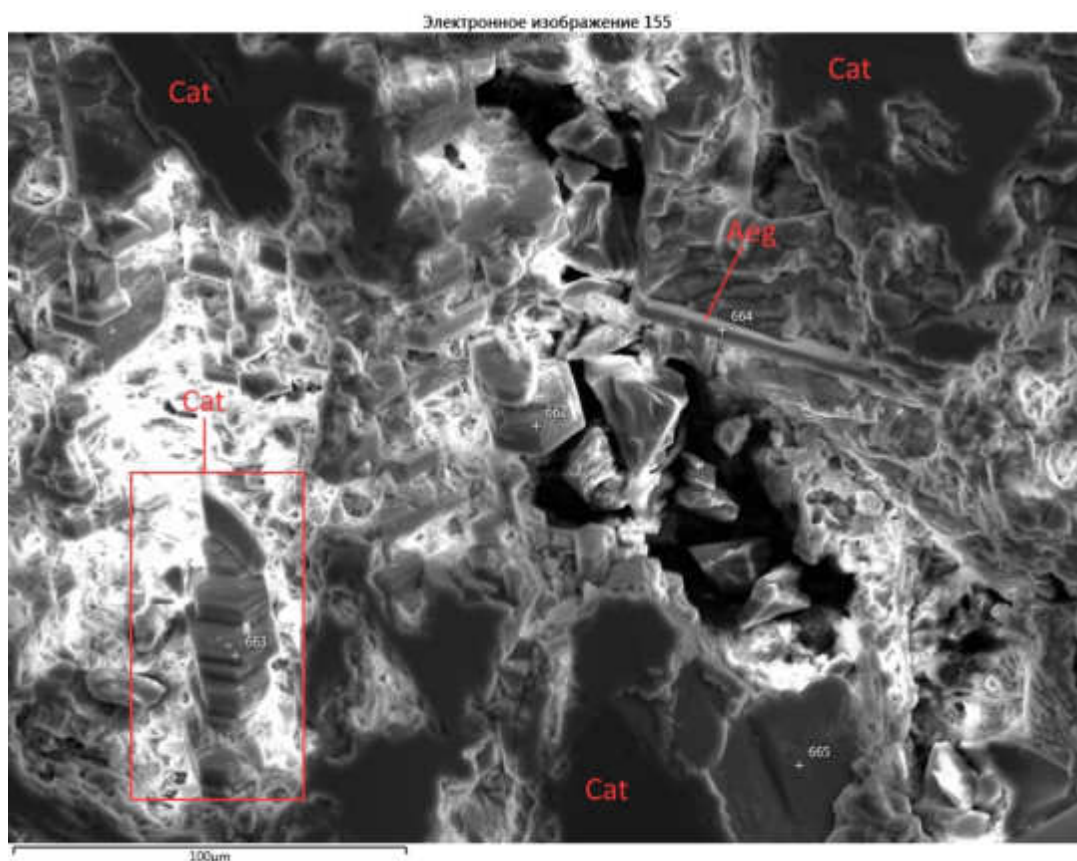


Рисунок 3.21. BSE-изображение. Отдельные кристаллические выделения в сплошной массе кальциокатаплейита (Cat).

Химический состав кальциокатаплеита представлен в таблице 3.21. Из нее видно, что, в данном минерале над натрием резко доминирует кальций – 9-11 масс.% против 0,7-6 масс.%. Это позволяет отнести его к виду «кальциокатаплеита». До недавнего времени кальциевый катаплеит был лишь разновидностью минерала катаплеит, однако, в 2008 году после пересмотра данного вопроса, ему было присвоено звание собственного минерального вида. Так же, помимо видообразующих компонентов, содержатся примеси Ti, Ce, Nb, Fe²⁺, Hf, Mg, K.

Таблица 3.21

Химический состав кальциокатаплеита из щелочных пегматитов массива Кондер.

мас.% \ №	643	645	652	662	663	674	675	679	688	690	693
SiO ₂	43,62	43,21	42,63	49,77	49,60	41,70	47,74	40,51	42,74	42,24	42,27
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZrO ₂	30,07	28,67	29,00	32,23	33,17	26,61	31,13	26,30	28,62	26,12	28,60
FeO	-	-	-	-	0,38	-	-	-	-	1,20	0,44
Nb ₂ O ₅	-	2,14	-	-	1,89	-	-	-	-	1,68	-
Ce ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,59	-
HfO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	0,79	0,52	-	-	-	-	-	-
CaO	11,31	10,71	11,42	10,01	9,13	7,61	8,88	11,19	11,24	9,28	11,49
Na ₂ O	1,27	1,83	0,77	4,49	5,77	3,69	5,94	1,26	1,22	2,65	1,06
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	86,27	86,56	83,82	97,29	100,46	79,61	93,69	79,26	83,82	83,76	83,86

Продолжение таблицы 3.21

мас.% \ №	699	701	703	708	714	715	719	725	726	727	735	740
SiO ₂	42,50	43,34	43,36	43,08	42,39	42,68	42,03	41,55	42,12	42,13	41,48	43,26
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	0,39	-	-	-	0,67
ZrO ₂	27,49	27,80	28,06	28,24	27,91	28,41	28,06	26,11	27,90	25,47	25,65	24,61
FeO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	-	-	2,90
Nb ₂ O ₅	1,28	2,78	-	2,67	-	-	-	1,74	-	2,50	-	-
Ce ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HfO ₂	-	0,86	0,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	11,53	8,85	11,77	9,32	10,62	11,01	11,15	9,54	11,01	7,35	10,41	8,99
Na ₂ O	1,57	3,02	1,53	3,02	1,49	0,96	0,86	2,55	1,32	3,47	2,16	2,65
K ₂ O	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	0,19	-	-
Сумма	84,37	86,83	85,58	86,33	82,41	83,06	82,10	81,88	82,65	81,11	79,70	83,08

При пересчете химического состава кальциокатаплеита на 3 атома кремния получаются формульные коэффициенты, отображенные в таблице 3.22. Они соответствуют теоретической, а типичная формула имеет такой вид:



Таблица 3.22

Пересчет химического состава кальциокатаплеита в формульные коэффициенты на 3 атома кремния.

fc \ №	643	645	652	662	663	674	675	679	688	690	693	699
Si	3,00	2,93	3,00	3,00	2,95	3,00	3,00	3,00	3,00	2,95	3,00	2,96
Ti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zr	1,01	0,95	1,00	0,95	0,96	0,93	0,95	0,95	0,98	0,89	0,99	0,93
Fe ²⁺	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	0,06	0,02	-
Nb	-	0,07	-	-	0,05	-	-	-	-	0,05	-	0,04
Ce	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-
Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	-	-	-	0,07	0,05	-	-	-	-	-	-	-
Ca	0,83	0,78	0,86	0,65	0,58	0,59	0,60	0,89	0,85	0,69	0,87	0,86
Na	0,17	0,24	0,11	0,52	0,67	0,51	0,72	0,18	0,17	0,36	0,15	0,21
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	8,94	8,83	8,90	8,87	8,93	8,71	8,87	8,88	8,89	8,79	8,96	8,85

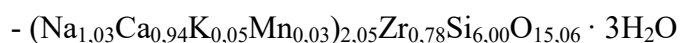
Продолжение таблицы 3.22.

fc \ №	701	703	708	714	715	719	725	726	727	735	740
Si	2,92	3,00	2,92	3,00	3,00	3,00	2,94	3,00	2,92	3,00	3,00
Ti	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	0,03
Zr	0,91	0,95	0,93	0,96	0,97	0,98	0,90	0,97	0,86	0,90	0,83
Fe ²⁺	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,00	0,00	0,15
Nb	0,08	-	0,08	-	-	-	0,06	-	0,08	-	-
Ce	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hf	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	0,64	0,87	0,68	0,81	0,83	0,85	0,72	0,84	0,55	0,81	0,67
Na	0,39	0,21	0,40	0,20	0,13	0,12	0,35	0,18	0,47	0,30	0,36
K	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-
O	8,73	8,89	8,78	8,83	8,84	8,87	8,77	8,89	8,55	8,77	8,81

3.3.2 Эльпидит (*Elpidite*): $(\text{Na})_2\text{ZrSi}_6\text{O}_{15} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Минерал образует мелкие выделения (Рис. 3.22, спектры 32, 26), приуроченные к пустотам. Исходя из химического состава (Таб. 3.23.) можно сказать, что данный минерал представлен высококальциевой разновидностью эльпидита - $(\text{Na,Ca})_2\text{ZrSi}_6\text{O}_{15} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, где натрий, хотя и доминирует в составе (1,03 атомов на формулу), но с весьма небольшим перевесом (кальций – 0,94 атомов на формулу).

При пересчете химического состава в формульные коэффициенты на 6 атомов кремния (Таб. 3.24) формулу эльпидита из щелочных пегматитов массива Кондёр выглядит следующим образом:



В целом, она близка к теоретической, погрешность в расчете может быть вызвана ограничением метода – невозможностью определить количество воды.

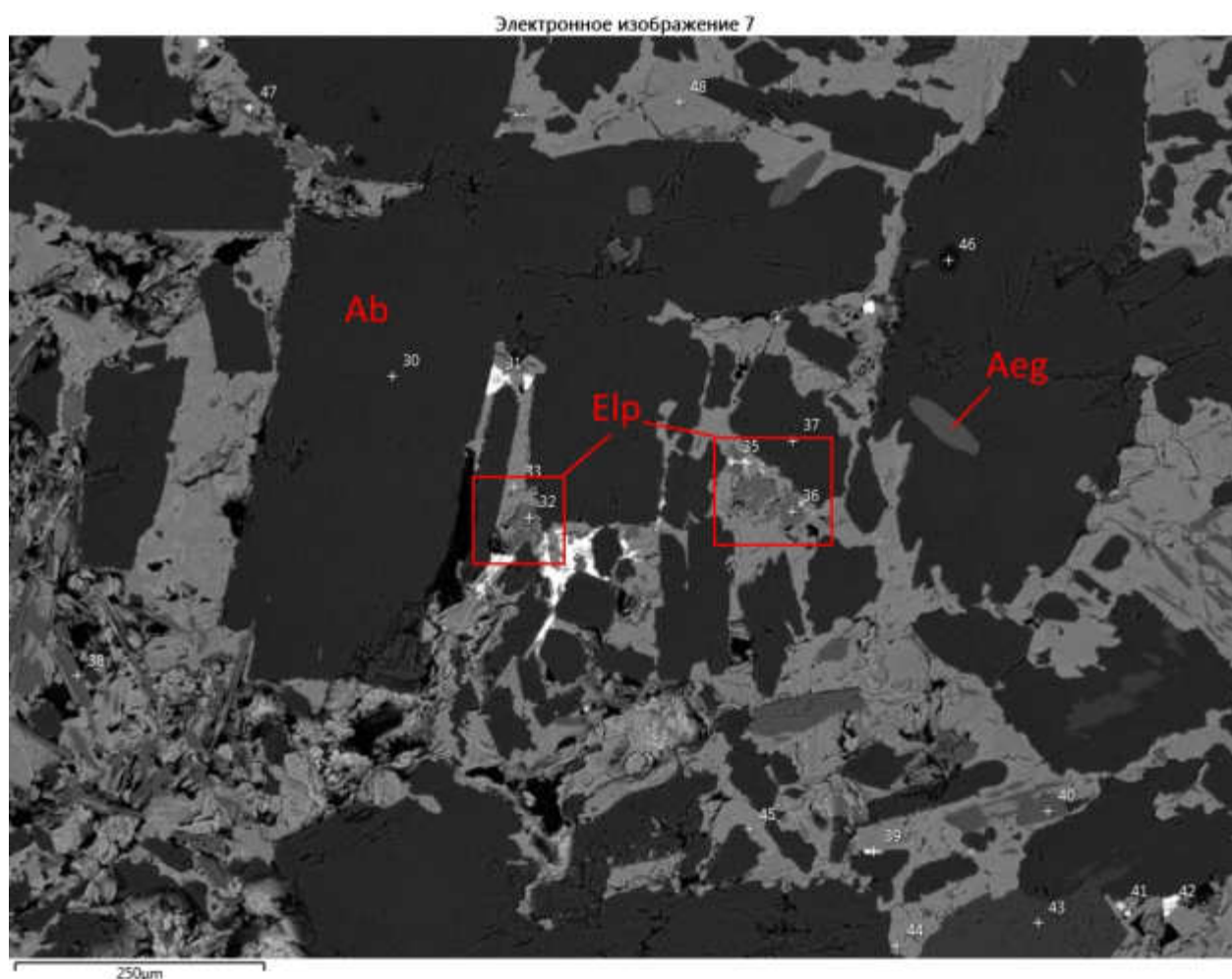


Рисунок 3.22. BSE-изображение. Выделения эльпидита (Elp) (спектр 32, 36) в полостях между зернами альбита.

Таблица 3.23

Химический состав эльпидита

мас.% \ №	32	36
SiO ₂	62,94	66,1
ZrO ₂	17,85	17,6
FeO	2,33	-
MnO	1,02	0,33
CaO	9,39	9,65
Na ₂ O	6,04	5,85
K ₂ O	0,43	0,47
Сумма	100	100

Таблица 3.24

Пересчет химического состава эльпидита в формульные коэффициенты на 6 атомов кремния.

Fc \ №	32	36
Si	6,00	6,00
Zr	0,83	0,78
Fe ²⁺	0,19	-
Mn	0,08	0,03
Ca	0,96	0,94
Na	1,12	1,03
K	0,05	0,05
O	15,47	15,06

Следующие несколько минералов интересны примесью бора, которая не является типичной для щелочных пород и ранее не была описана в пределах Кондёрского комплекса. Однако, в виду ограниченности используемого метода, с примесью этого элемента связана некоторая погрешность в расчете формул фаз.

3.3.3. Бобтрайлит (*Bobtraillite*)- $\text{Na}_{13}\text{Sr}_{11}(\text{Zr}_{13}\text{Y})(\text{B}_6\text{Si}_{42}\text{O}_{132})(\text{OH})_{12} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Крайне редкий кольцевой цирконосиликат. Утвержден IMA в 2001 году. На момент написания работы было известно лишь одно проявление в мире.

Минерал наблюдается в виде мельчайших выделений (рис. 3.23). Диагностируется по результатам рентгеноспектрального микроанализа (таб. 3.25).

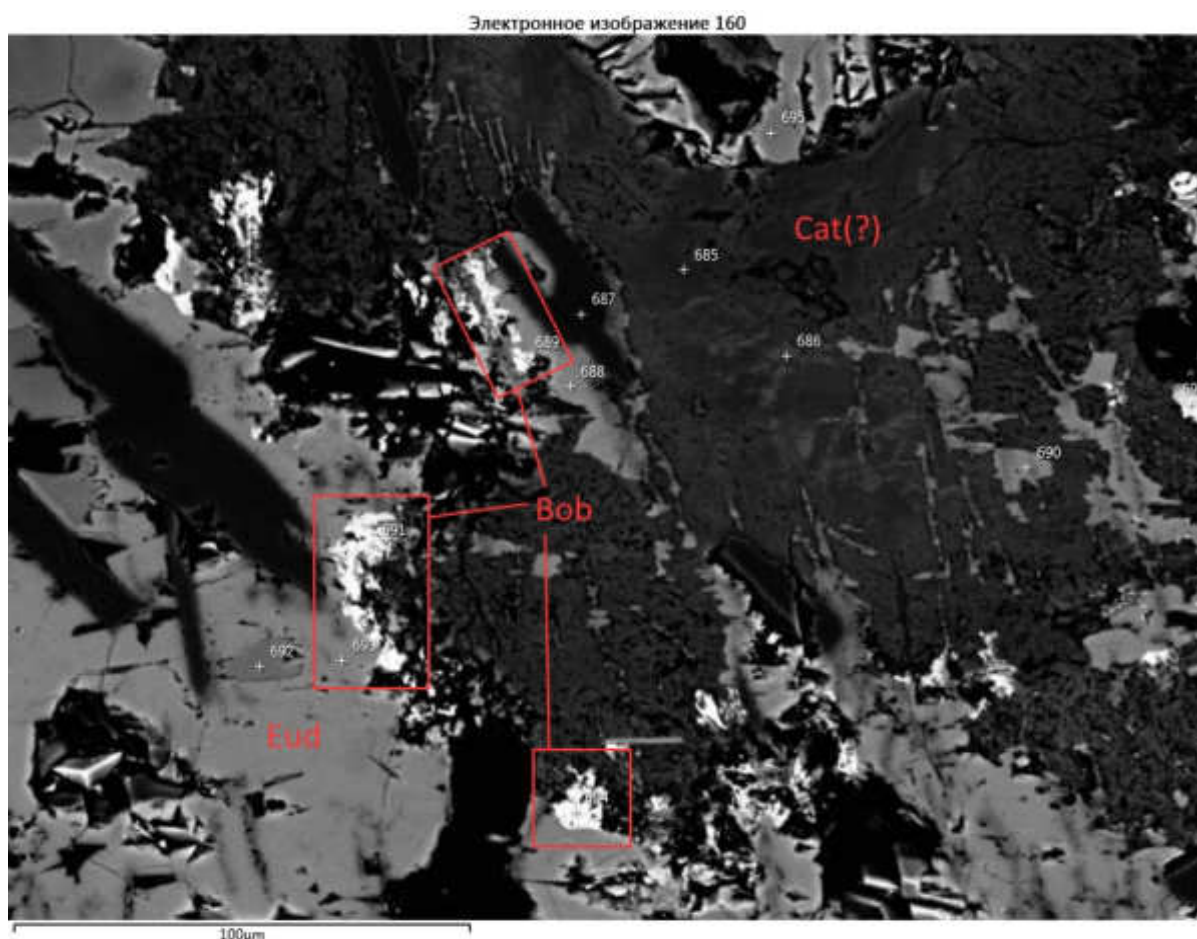


Рисунок 3.23. BSE-изображение. Мелкие выделения бобтрайллита (Bob) приурочены к пустотам между альбитом (Ab) и, предположительно, катаплейитом (Cat).

Пересчет химического состава в формульные коэффициенты велся на 42 атома кремния, однако написание точной формулы затруднительно из-за неточности при измерении бора (можно констатировать лишь его наличие в значительном количестве) и невозможности измерить содержание H_2O ввиду ограничений используемого метода. Данная погрешность приводит к искажению содержания других элементов, однако пропорциональность в содержании сохраняется. Таким образом, можно написать примерную формулу Бобтрайллита (таб. 3.26):

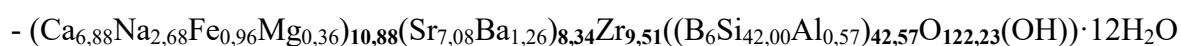


Таблица 3.25

Химический состав бобтраиллита из щелочных пегматитов Кондерского массива.

мас.% \ №	640	641	656	680	689	691	694
SiO ₂	37,57	41,65	41,94	37,69	37,65	36,67	37,57
TiO ₂	-	-	-	0,29	-	-	-
ZrO ₂	20,36	21,85	19,48	18,26	19,98	19,29	18,65
Al ₂ O ₃	-	0,48	0,48	-	-	-	-
FeO	0,37	-	1,27	0,62	0,49	0,34	0,32
Yb ₂ O ₃	-	-	-	-			-
MnO	0,59	-	-	-	0,20	0,19	-
MgO	-	-	0,24	-	-	-	-
SrO	13,53	12,47	12,19	8,02	12,72	11,83	13,35
CaO	5,16	4,30	6,41	6,45	5,02	5,03	4,96
BaO	3,03	2,47	3,21	-	3,43	3,33	3,79
Na ₂ O	1,41	1,72	1,38	1,82	1,17	1,05	1,00
K ₂ O	0,22	0,20	-	-	0,19	0,11	-
Сумма	82,24	85,14	86,60	73,15	80,85	77,84	79,64

Продолжение таблицы 3.25

мас.% \ №	696	700	709	723	729	730	734
SiO ₂	37,81	37,37	38,22	37,96	37,82	38,52	38,57
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-
ZrO ₂	18,93	18,41	19,36	17,03	20,56	21,93	17,39
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-
FeO	-	-	0,38	-	-	0,25	-
Yb ₂ O ₃	-	-	-	1,29	-	-	-
MnO	-	-	0,62		0,35	0,15	-
MgO	-	-	-	-	-	-	-
SrO	12,74	13,00	12,73	12,8	13,26	12,81	11,50
CaO	5,05	4,74	5,22	7,40	5,03	5,79	5,71
BaO	3,53	3,65	3,22	-	2,88	2,75	-
Na ₂ O	1,26	1,15	1,25	1,49	1,26	1,51	1,27
K ₂ O	0,19	-	-	-	0,15	-	-
Сумма	79,51	78,32	81,00	77,97	81,31	83,71	74,44

Таблица 3.26

Пересчет химического состава бобтраиллита в формульные коэффициенты на 42 атома кремния

Fc \ №	640	641	656	680	689	691	694
Si	42	42	42	42	42	42	42
Ti	-	-	-	0,24	-	-	-
Zr	11,1	10,74	9,51	9,92	10,87	10,77	10,17
Al	-	0,57	0,57	-	-	-	-
Fe ²⁺	0,31	-	0,96	0,52	0,41	0,29	0,27
Yb	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0,56	-	-	-	0,19	0,18	-
Mg	-	-	0,36	-	-	-	-
Sr	8,77	7,29	7,08	5,18	8,23	7,86	8,65
Ca	6,18	4,65	6,88	7,7	6	6,17	5,94
Ba	1,33	0,98	1,26	-	1,5	1,49	1,66
Na	3,06	3,36	2,68	3,93	2,53	2,33	2,17
K	0,31	0,26	-	-	0,27	0,16	-
O	125,19	121,07	122,23	119,96	123,67	122,94	122,08

Продолжение таблицы 3.26

Fc \ №	696	700	709	723	729	730	734
Si	42	42	42	42	42	42	42
Ti	-	-	-	-	-	-	-
Zr	10,25	10,09	10,37	9,19	11,13	11,66	9,23
Al	-	-	-	-	-	-	-
Fe ²⁺	-	-	0,31	-	-	0,21	-
Yb	-	-	-	0,44	-	-	-
Mn	-	-	0,58	-	0,33	0,14	-
Mg	-	-	-	-	-	-	-
Sr	8,21	8,47	8,11	8,21	8,54	8,1	7,26
Ca	6,01	5,71	6,15	8,77	5,99	6,76	6,66
Ba	1,54	1,61	1,39	-	1,25	1,18	-
Na	2,71	2,51	2,66	3,2	2,71	3,19	2,68
K	0,27	-	-	-	0,21	-	-
O	121,75	121,22	122,77	121,61	123,84	125,4	117,73

3.3.4. Стилвеллит-(Ce) (*Stillwellite*-(Ce)) - $\text{CeB}(\text{SiO}_4)\text{O}$

Стилвеллит-(Ce), как и другие редкие минералы, образует мелкие выделения. Интересно, что минерал явно заполняет пустоты в массе катаплеита (Рис. 3.24) и в кристалле эвдиалита (Рис. 3.25).

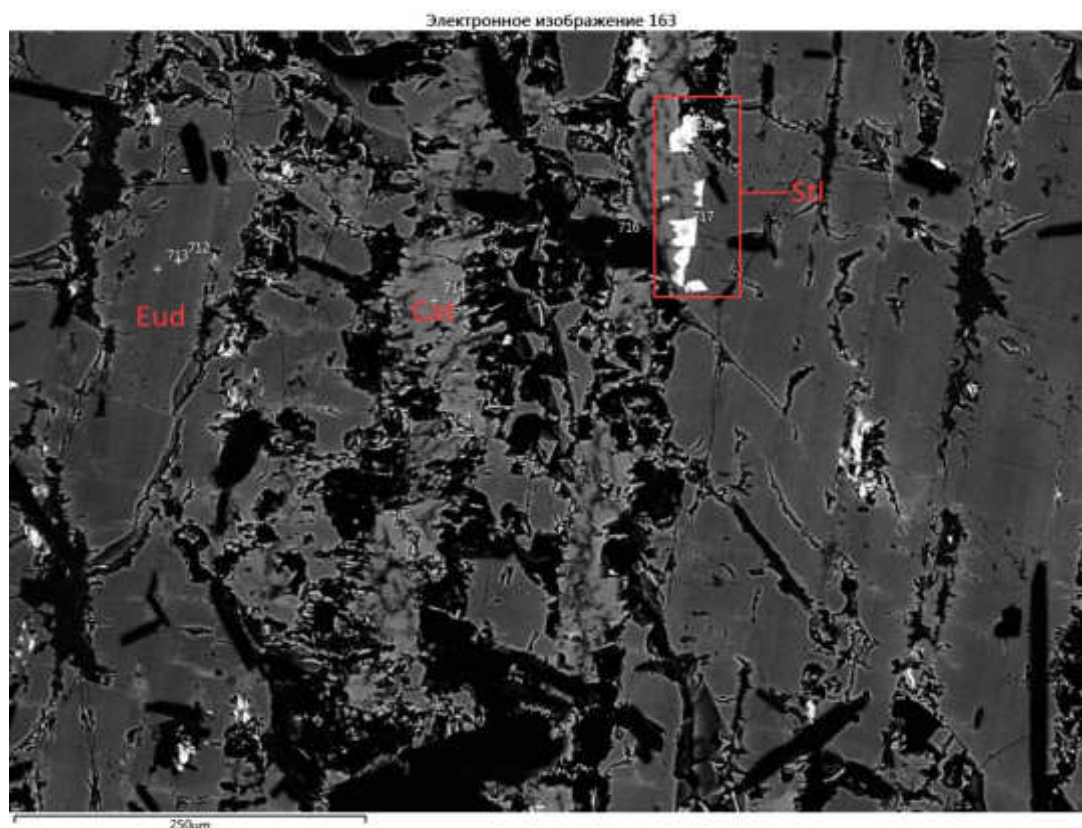
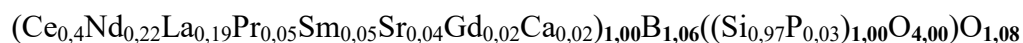


Рисунок 3.24. BSE-изображение. Стилвеллит (Stl) (спектр 717, 718) заполняет пустоты в тесном контакте с кальциокатаплеитом (Cat).

Химический состав стилвеллита-(Ce) представлен в таблице 3.27. Из нее видно, что кроме Ce (25-28 масс.%) в значительных количествах содержатся La (12-16 масс.%) и Nd (8-13 масс.%), а так же примесь стронция, кальция, иттрия, гадолиния, празеодима, и, в некоторых случаях, свинца.

Рассчитанные на один атом кремния и фосфора составы минерала представлены в таблице 3.28. При расчете формулы данных минералов так же, как и в случае с бобтраиллитом, возникает проблема неточности измерения бора, которая ведет за собой искажение содержаний других элементов. Тем не менее, рассчитанные формулы соответствуют теоретический – расчет анализа №463 можно записать следующим образом:



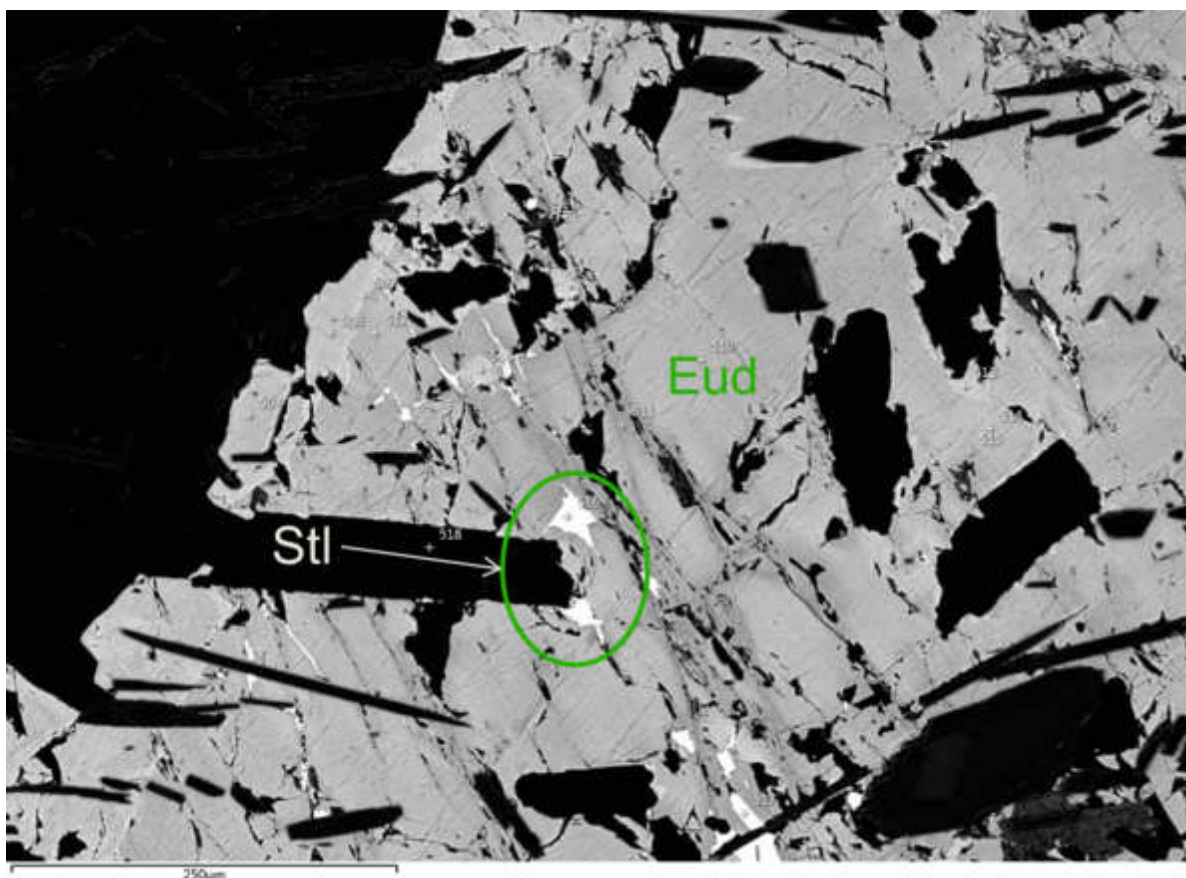


Рисунок 3.25. BSE-изображение. Стилвеллит (Stl) заполняет пустоты в пределах кристалла эвдиалита (Eud)

Таблица 3.27

Химический состав стилвеллита-(Ce)

мас.% \ №	463	474	481	486	488	489
SiO ₂	21,07	21,61	19,88	19,74	22,47	22,48
Y ₂ O ₃	-	1,92	-	1,09	-	-
La ₂ O ₃	11,48	15,64	15,54	15,22	14,86	14,80
Ce ₂ O ₃	24,05	27,27	30,82	29,56	27,20	28,77
Pr ₂ O ₃	3,08	2,73	3,35	2,86	3,02	3,24
Nd ₂ O ₃	13,54	8,85	8,55	8,06	7,15	7,07
Sm ₂ O ₃	3,03	-	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	1,54	-	-	-	-	-
SrO	1,45	1,47	-	-	1,11	-
CaO	0,46	1,04	0,72	0,65	2,56	2,33
PbO	-	-	-	0,71	-	-
B ₂ O ₃	15,06	14,05	17,14	12,13	17,71	17,37
P ₂ O ₅	0,77	0,87	1,62	1,89	0,48	0,70
сумма	95,53	95,45	97,62	91,91	96,56	96,76

Продолжение таблицы 3.27

мас.% \ №	490	491	492	493	494	516	556
SiO ₂	20,46	23,36	19,93	23,71	24,29	21,95	19,72
Y ₂ O ₃	2,15	-	0,88	-	-	-	-
La ₂ O ₃	14,19	12,88	14,99	14,45	13,06	14,55	13,76
Ce ₂ O ₃	28,04	28,38	29,3	29,65	28,97	28,67	28,97
Pr ₂ O ₃	2,74	3,19	3,00	3,32	3,09	3,40	2,71
Nd ₂ O ₃	9,45	8,70	8,82	6,99	9,16	13,64	10,5
Sm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	2,10	-
Gd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-
SrO	1,23	0,85	-	0,85	0,79	0,98	-
CaO	0,62	2,74	0,71	2,51	2,83	-	0,95
PbO	-	-	-	-	-	-	-
B ₂ O ₃	12,09	20,14	17,5	14,41	13,84	16,57	17,37
P ₂ O ₅	1,39	0,34	1,71	0,41	0,38	1,53	1,97
сумма	92,36	100,58	96,84	96,30	96,41	103,39	95,95

Таблица 3.28

Пересчет химического состава стилвеллита-(Ce) в формульные коэффициенты на 1 атом

Si+Al.

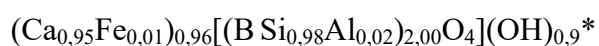
Fc \ №	463	474	481	486	488	489
Si	0,97	0,97	0,94	0,93	0,98	0,97
Y	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,00
La	0,19	0,26	0,27	0,26	0,24	0,24
Ce	0,40	0,45	0,53	0,51	0,44	0,46
Pr	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05
Nd	0,22	0,14	0,14	0,13	0,11	0,11
Sm	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sr	0,04	0,04	0,00	0,00	0,03	0,00
Ca	0,02	0,05	0,04	0,03	0,12	0,11
Pb	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
B	1,06	0,99	1,18	0,95	1,12	1,09
P	0,03	0,03	0,06	0,07	0,02	0,03
O	5,08	5,00	5,34	4,97	5,08	5,04

Продолжение таблицы 3.28

Fc \ №	490	491	492	493	494	516	556
Si	0,95	0,99	0,93	0,99	0,99	0,94	0,92
Y	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
La	0,24	0,20	0,26	0,22	0,20	0,23	0,24
Ce	0,47	0,44	0,50	0,45	0,43	0,45	0,50
Pr	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Nd	0,16	0,13	0,15	0,10	0,13	0,21	0,18
Sm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Gd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sr	0,03	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00
Ca	0,03	0,12	0,04	0,11	0,12	0,00	0,05
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B	0,93	1,16	1,19	0,94	0,89	1,06	1,18
P	0,05	0,01	0,07	0,01	0,01	0,06	0,08
O	4,94	5,12	5,32	4,79	4,70	5,10	5,29

3.3.5. Датолит (*Datolite*) - $\text{Ca}(\text{BSiO}_4)(\text{OH})$

Выделение этого минерала было встречено в породах массива однократно. Датолит ассоциирует с кристаллами эгирина в массе альбита (Рис. 3.26). Химический состав минерала представлен в таблице 3.29. Расчет на 1 атом кремния и алюминия приведен в таблице 3.30. Рассчитанная формула имеет следующий вид:



*содержания бора, кислорода и гидроксильной группы рассчитаны теоретически

Не смотря на то, что некорректное значение бора влияет на расчётный коэффициент кислорода, увеличивая его, соотношение других элементов и их состав отвечает теоритической формуле минерала.

Таблица 3.29

Химический состав датолита

мас.% \ №	766
SiO_2	38,25
Al_2O_3	0,25
FeO	0,51
CaO	33,97
B_2O_3^*	35,65
Сумма	108,63

Примечание: бор определяется полуколичественно, и потому в расчете не учитывается

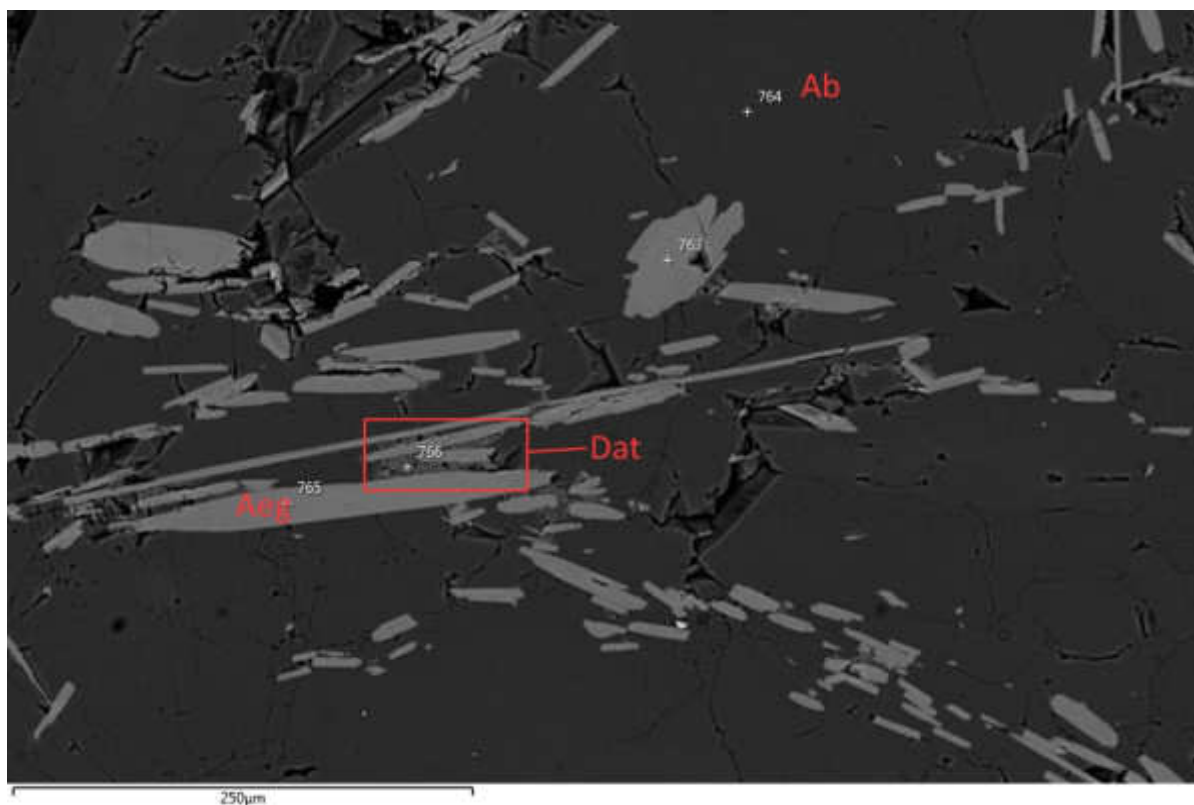


Рисунок 3.26. BSE-изображение. Зерно датолита (Dat) между вытянутыми кристаллами эгирина

Таблица 3.30

Пересчет химического состава датолита в формульные коэффициенты на 1 атом Si+Al.

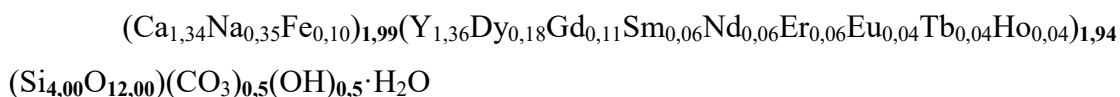
Fc \ №	766
Si	0,98
Al	0,02
Fe ²⁺	0,01
Ca	0,95
B	1,61
O	5,39

3.3.6. Кайнозит-(Y) (*Kainosite-(Y)*) - $\text{Ca}_2(\text{Y,Ce})_2(\text{Si}_4\text{O}_{12})(\text{CO}_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$

Минерал образует блочные выделения (Рис. 3.27, 3.28) с различными по контрасту зонами. Он занимает полости в пределах зерен эвдиалита, участвуя в образовании концентрической зональности индивидов этого цирконосиликата. Зональность кайнозита, по всей видимости, связана с колебаниями в его составе соотношения редкоземельных элементов и кальция.

Химический состав минерала представлен в таблице 3.31. Помимо основных элементов, наблюдаются заметные содержания других редкоземельных элементов – до 5 мас.%, а также натрия, и, в некоторых случаях, железа и марганца.

Пересчет химического состава в формульные коэффициенты на 4 атома кремния приведен в таблице 3.32. Ввиду ограниченности метода карбонатная составляющая минерала рассчитана теоритически путем исходя из количества зарядов. Рассчитанная формула кайнозита-(Y) выглядит следующим образом:



Как видно, она соответствует теоретической.

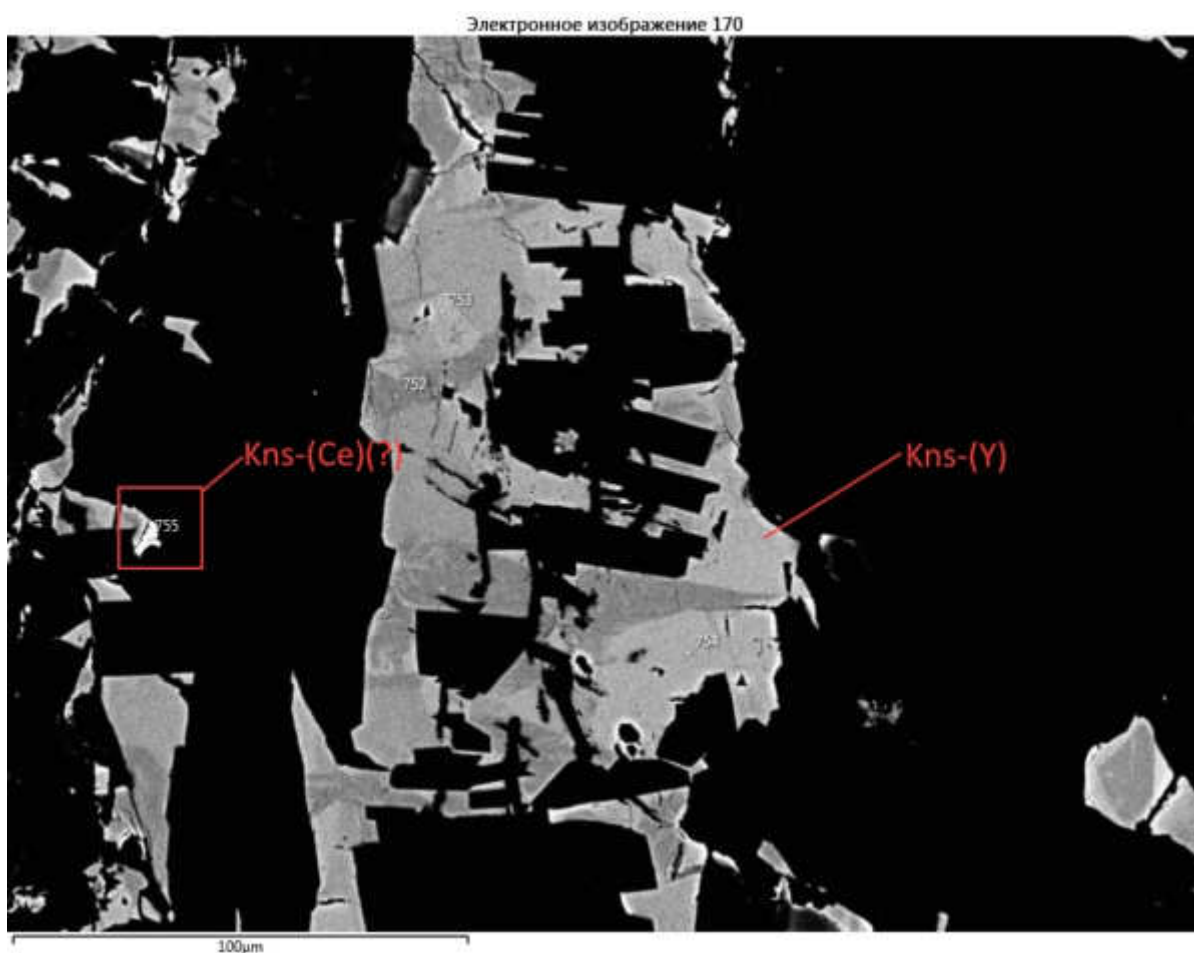


Рисунок 3.27. BSE-изображение. Блочная структура в выделениях кайнозита-Y (Kns-(Y))

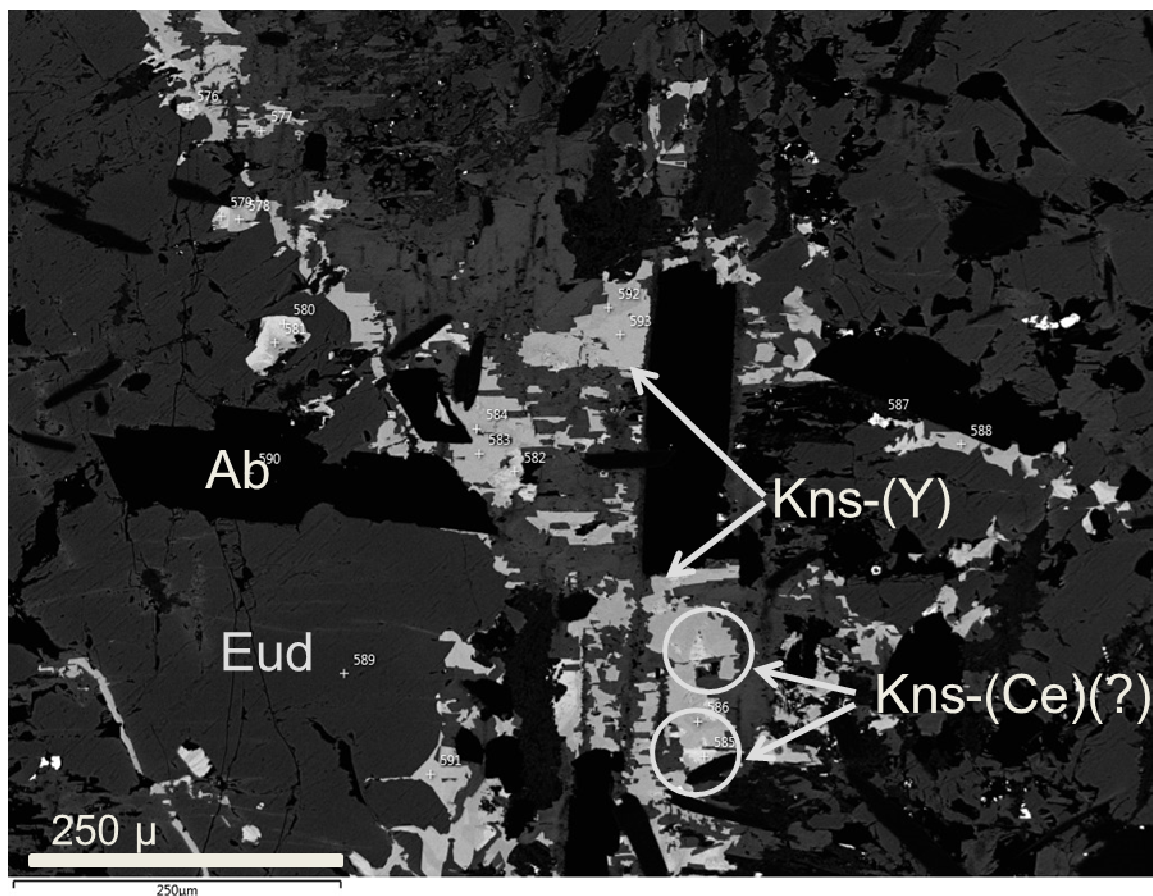


Рисунок 3.28. BSE-изображение. Агрегаты кайнозита-Y (Kns-(Y)), и Ca-Ce-силикат (Kns-(Ce)(?)) развивающиеся в зерне эвдиалита

Таблица 3.31

Химический состав кайнозита-Y

мас.% \ №	552	554	555	561	562	563	565	566
SiO ₂	33,33	33,5	32,52	32,68	33,33	33,43	33,77	33,3
FeO	0,48	-	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	21,31	21,57	17,93	20,76	17,66	22,51	21,92	19,14
Ce ₂ O ₃	-	-	0,94	-	0,54	-	-	-
Nd ₂ O ₃	1,34	1,45	2,35	0,80	2,71	1,11	1,37	2,50
Sm ₂ O ₃	1,44	1,47	2,26	0,99	2,40	1,22	1,26	2,48
Eu ₂ O ₃	0,91	1,27	1,35	-	1,50	-	-	1,35
Gd ₂ O ₃	2,67	3,07	3,99	2,74	4,31	1,85	2,08	3,93
Tb ₂ O ₃	1,06	-	-	-	1,11	-	-	-
Dy ₂ O ₃	4,77	4,45	4,69	4,48	4,56	4,82	4,51	4,86
Ho ₂ O ₃	0,93	-	-	-	0,94	1,32	1,06	0,99
Er ₂ O ₃	1,62	1,94	-	1,79	1,62	1,53	1,75	1,79
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	11,98	13,62	12,91	11,90	13,19	14,01	14,39	12,85
Na ₂ O	1,51	1,17	0,97	1,96	0,89	0,80	0,93	1,02
сумма	83,35	83,51	79,91	78,1	84,76	82,6	83,04	84,21

Продолжение таблицы 3.31

мас.% \ №	567	568	569	571	577	578	581
SiO ₂	33,94	34,77	34,32	34,52	33,13	32,7	33,52
FeO	-	-	-	-	-	0,32	-
Y ₂ O ₃	21,13	23,95	21,78	23,54	22,16	20,93	21,89
Ce ₂ O ₃	0,60		0,71	0,44		0,38	0,63
Nd ₂ O ₃	1,27	0,68	1,51	0,43	1,00	1,05	1,01
Sm ₂ O ₃	1,74	0,96	1,45	0,73	0,90	0,91	0,95
Eu ₂ O ₃	0,95	-	1,00	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	3,17	1,96	3,77	2,40	2,31	3,07	3,03
Tb ₂ O ₃	-	-	0,86	-	-	-	-
Dy ₂ O ₃	5,11	4,77	4,67	4,49	4,36	4,58	3,91
Ho ₂ O ₃	-	1,20	-	-	1,15	-	-
Er ₂ O ₃	1,68	2,36	1,57	2,03	2,08	1,82	1,66
MnO	-	0,53	0,63	0,41	0,70	0,79	0,68
CaO	12,67	14,5	13,03	14,19	13,44	11,75	13,87
Na ₂ O	1,61	1,14	1,39	1,17	1,11	1,91	1,09
Сумма	83,87	86,82	86,69	84,35	82,34	80,21	82,24

Продолжение таблицы 3.31

мас.% \ №	583	584	586	588	591	592	593
SiO ₂	33,22	33,44	34,89	33,15	33,4	32,98	33,16
FeO	-	-	-	-	-	-	
Y ₂ O ₃	21,48	22,91	21,39	20,16	18,11	23,16	20,82
Ce ₂ O ₃		0,52	0,90	0,36	0,65	0,49	-
Nd ₂ O ₃	1,24	0,54	1,02	1,32	1,69	0,61	1,21
Sm ₂ O ₃	1,01	0,55	1,01	1,26	2,10	0,58	2,15
Eu ₂ O ₃	-	-	0,82	-	-	-	1,46
Gd ₂ O ₃	3,05	2,44	2,02	3,58	4,82	2,01	3,53
Tb ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-
Dy ₂ O ₃	5,10	4,13	3,90	4,64	4,80	4,35	4,82
Ho ₂ O ₃	-	-	0,99	-	-	-	-
Er ₂ O ₃	1,78	1,89	1,59	1,52	-	1,75	1,78
MnO	0,59	0,58	-	0,87	0,85	0,54	-
CaO	11,84	13,49	13,02	11,54	12,49	13,85	12,56
Na ₂ O	2,01	1,19	1,53	2,04	1,81	1,07	1,24
Сумма	81,32	81,68	83,08	80,44	80,72	81,39	82,73

Таблица 3.32

Пересчет химического состава кайнозита-У в формульные коэффициенты на 4 атома Si

Fc \ №	552	554	555	561	562	563	565	566
Si	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y	1,36	1,37	1,17	1,35	1,13	1,43	1,38	1,22
Ce	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Nd	0,06	0,06	0,10	0,03	0,12	0,05	0,06	0,11
Sm	0,06	0,06	0,10	0,04	0,10	0,05	0,05	0,10
Eu	0,04	0,05	0,06	0,00	0,06	0,00	0,00	0,06
Gd	0,11	0,12	0,16	0,11	0,17	0,07	0,08	0,16
Tb	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Dy	0,18	0,17	0,19	0,18	0,18	0,19	0,17	0,19
Ho	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05	0,04	0,04
Er	0,06	0,07	0,00	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	1,54	1,74	1,70	1,56	1,70	1,80	1,83	1,65
Na	0,35	0,27	0,23	0,47	0,21	0,19	0,21	0,24
O	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
CO ₃	0,49	0,50	0,37	0,31	0,45	0,49	0,47	0,45
(OH)	0,49	0,50	0,37	0,31	0,45	0,49	0,47	0,45

Продолжение таблицы 3.32

Fc \ №	567	568	569	571	577	578	581
Si	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
Y	1,33	1,47	1,35	1,45	1,42	1,36	1,39
Ce	0,03	0,00	0,03	0,02	0,00	0,02	0,03
Nd	0,05	0,03	0,06	0,02	0,04	0,05	0,04
Sm	0,07	0,04	0,06	0,03	0,04	0,04	0,04
Eu	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd	0,12	0,07	0,15	0,09	0,09	0,12	0,12
Tb	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,18	0,15
Ho	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
Er	0,06	0,09	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06
Mn	0,00	0,05	0,06	0,04	0,07	0,08	0,07
Ca	1,60	1,79	1,63	1,76	1,74	1,54	1,77
Na	0,37	0,25	0,31	0,26	0,26	0,45	0,25
O	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
CO ₃	0,42	0,56	0,52	0,47	0,52	0,45	0,48
(OH)	0,42	0,56	0,52	0,47	0,52	0,45	0,48

Продолжение таблицы 3.32

Fc \ №	583	584	586	588	591	592	593
Si	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y	1,38	1,46	1,31	1,29	1,15	1,49	1,34
Ce	0,00	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02	0,00
Nd	0,05	0,02	0,04	0,06	0,07	0,03	0,05
Sm	0,04	0,02	0,04	0,05	0,09	0,02	0,09
Eu	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06
Gd	0,12	0,10	0,08	0,14	0,19	0,08	0,14
Tb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy	0,20	0,16	0,14	0,18	0,19	0,17	0,19
Ho	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Er	0,07	0,07	0,06	0,06	0,00	0,07	0,07
Mn	0,06	0,06	0,00	0,09	0,09	0,06	0,00
Ca	1,53	1,73	1,60	1,49	1,60	1,80	1,62
Na	0,47	0,28	0,34	0,48	0,42	0,25	0,29
O	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
CO ₃	0,41	0,47	0,28	0,35	0,32	0,54	0,45
(ОН)	0,41	0,47	0,28	0,35	0,32	0,54	0,45

Отдельно стоит остановиться на некоторых блоках в зерне кайнозита, резко отличающихся по контрасту от основной массы выделений минерала (Рис. 3.29). Как оказалось, эти зоны отвечают схожему с кайнозитом-У составу, но иттрий в них содержится в крайне малых количествах при резком доминировании церия и неодима. Химический состав таких выделений представлен в таблице 3.33. Как видно, состав несколько беднее кайнозита-У по числу компонентов при схожей сумме. Здесь, среди прочего, стоит отметить присутствие лантана.

При пересчете химического состава в формульные коэффициенты на 4 атома кремния (Таб. 3.34) получается близкая к кайнозиту стехиометрия, отличие в некотором недостатке редкоземельных элементов (в среднем около 0,35 ф.к.) и избытке кальция (около 0,1 ф.к.). Однако цериевая разновидность последнего в настоящее время не обнаружена в природе. Других минералов, отвечающих подобному составу, в открытых источниках также не найдено. Это несомненно дает повод задуматься о проведении уточняющих исследований представленной фазы, поскольку она может оказаться ранее неизвестным науке минералом.

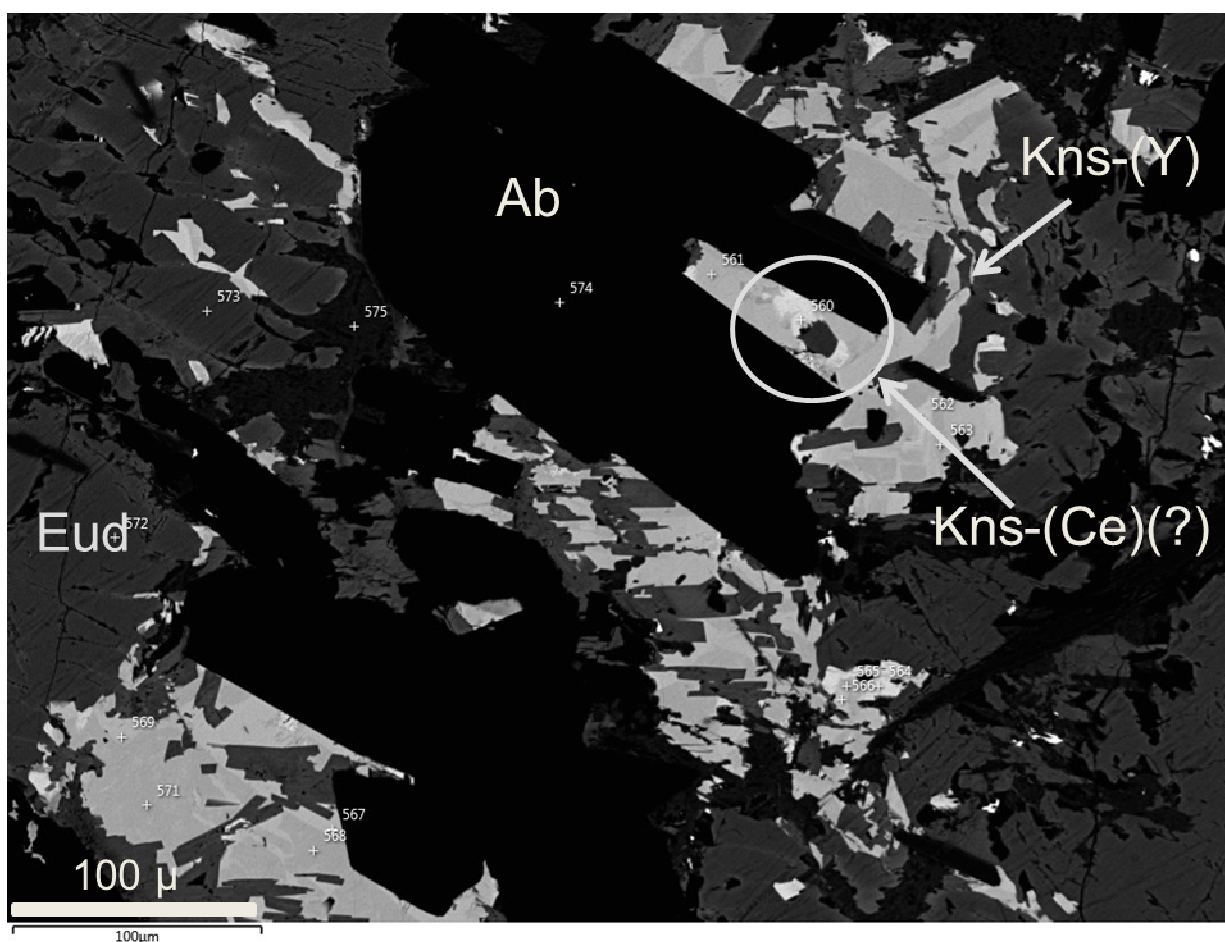


Рисунок 3.29. BSE-изображение. Агрегаты кайнозита-Y (Kns-(Y)), развивающиеся зерне эвдиалита. Более светлые участки (Kns-(Ce)(?)) являются Се-доминантной фазой

Таблица 3.33

Химический состав ассоциирующего с кайнозитом-Y Са-Се-силиката

мас.% \ №	560	564	576	579	580	582	585
SiO ₂	32,79	32,98	31,42	30,88	32,18	31,49	33,08
Y ₂ O ₃	4,82	4,57	6,76	4,77	4,78	6,06	2,23
La ₂ O ₃	1,91	2,14	3,91	2,01	2,13	2,56	2,69
Ce ₂ O ₃	13,26	13,55	12,09	11,95	13,3	13,01	16,75
Pr ₂ O ₃	1,87	1,77	-	-	1,56	-	2,13
Nd ₂ O ₃	10,05	9,25	6,19	8,64	8,75	6,84	10,61
Sm ₂ O ₃	1,79	2,26	0,88	-	1,37	-	1,63
Gd ₂ O ₃	1,46	1,97	1,1	-	1,41	-	1,12
Dy ₂ O ₃	-	-	0,76	-	-	-	-
MnO	-	-	0,59	-	-	-	-
CaO	16,26	15,63	15,54	16,1	15,85	16,57	15,96
Сумма	84,2	84,12	79,24	74,36	81,32	76,54	86,22

Таблица 3.34

Пересчет химического состава ассоциирующего с кайнозитом-Y Ca-Ce-силиката в формульные коэффициенты на 4 атома Si

Fc \ №	560	564	576	579	580	582	585
Si	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Y	0,31	0,29	0,46	0,33	0,32	0,41	0,14
La	0,09	0,10	0,18	0,10	0,10	0,12	0,12
Ce	0,59	0,60	0,56	0,57	0,61	0,61	0,74
Pr	0,08	0,08	0,00	0,00	0,07	0,00	0,09
Nd	0,44	0,40	0,28	0,40	0,39	0,31	0,46
Sm	0,08	0,09	0,04	0,00	0,06	0,00	0,07
Gd	0,06	0,08	0,05	0,00	0,06	0,00	0,04
Dy	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	2,13	2,03	2,12	2,23	2,11	2,26	2,07
O	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
CO ₃	0,40	0,33	0,39	0,21	0,33	0,28	0,38
(OH)	0,40	0,33	0,39	0,21	0,33	0,28	0,38

3.3.7 Перклевеит-(Ce) (*Percleveite-(Ce)*) - (Ce,La,Nd)₂Si₂O₇

Этот силикат редкоземельных элементов, кристаллизуется в полостях выщелачивания и трещинах зерен эвдиалита (Рис. 3.30). В числе других редкоземельных минералов, перклевеит-(Ce) участвует в формировании макроскопической зональности последнего. Он образует игольчатые веерообразные выделения (рис. 3.31), а так же сплошные массы.

Химический состав минерала представлен в таблице 3.35. Кроме редкоземельных элементов здесь наблюдается незначительная примесь кальция и примесь фосфора около 1,5 масс. %.

Отдельно необходимо отметить крайне низкие суммы анализов – 67-78%. Учитывая отсутствие в минерале дополнительных анионных групп, не определяемых используемым методом, суммы должны быть близки к 100%. Подобную погрешность в измерениях, вероятно, можно связать с морфологией выделений, либо с некоторой ошибкой анализа.

Тем не менее, рассчитанные на 2 атома кремния формулы перклевеита-(Ce) (Таб. 3.36) соответствуют теоретической. В качестве примера можно привести спектр 644 – рассчитанная формула имеет следующий вид:



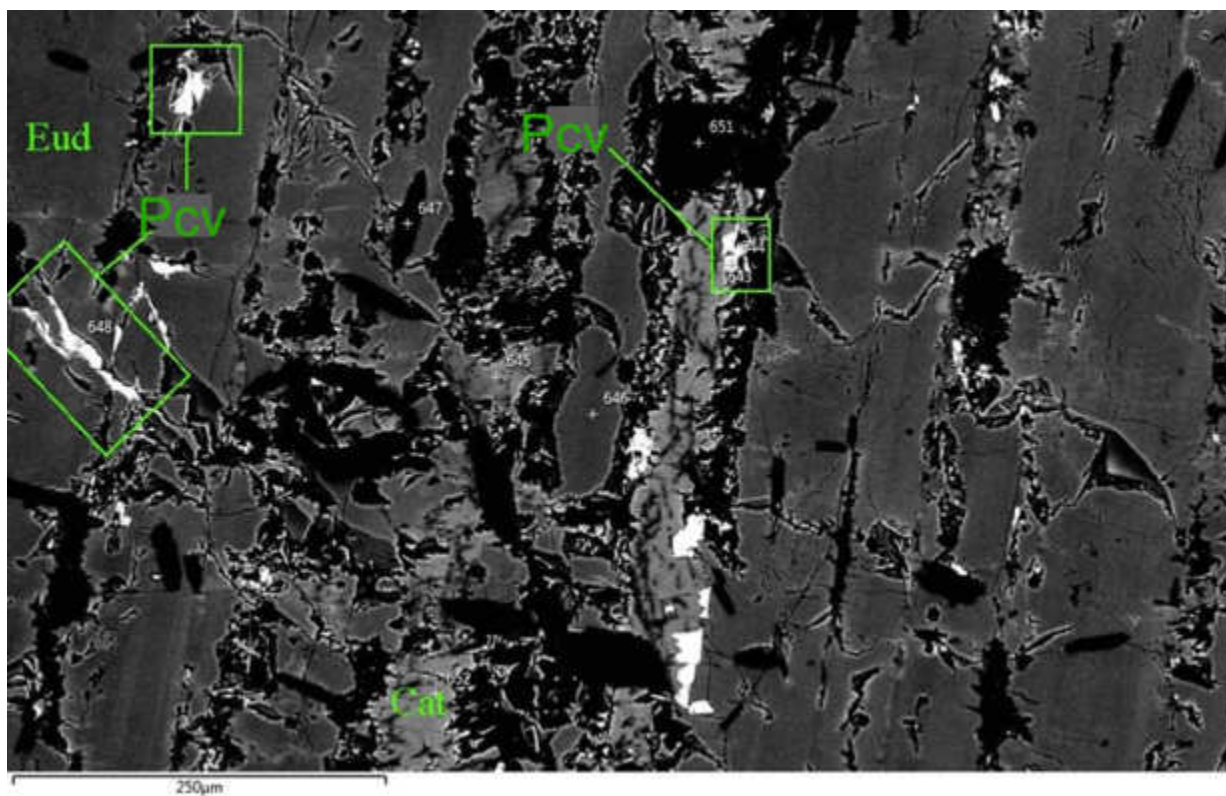


Рис. 3.30. Выделения перклевеита-(Ce) (Pcv) в полостях зерна эвдиалита (Eud)

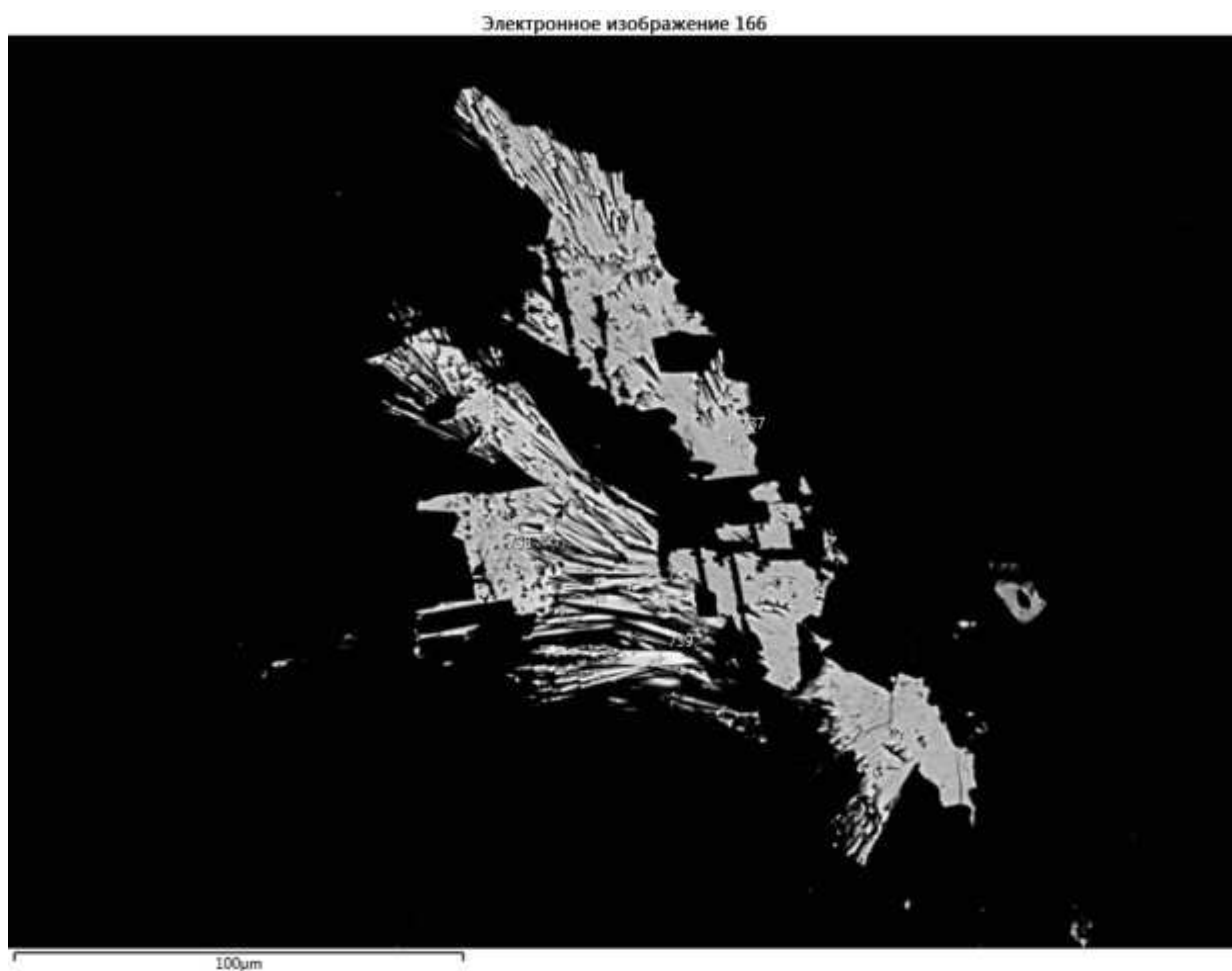


Рис. 3.31. Игольчатый агрегат перклевеита-(Ce) в полостях зерна эвдиалита

Таблица 3.35

Химический состав перклевеита-(Ce)

мас.% \ №	644	648	697	710	718	724	737	738	739
P ₂ O ₅	1,61	1,44	1,74	1,15	1,07	1,46	1,07	0,97	2,14
SiO ₂	16,95	16,98	21,43	15,71	21,16	25,89	20,62	21,60	20,08
Al ₂ O ₃	-	-	0,00	-	-	1,84	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	2,02	-	-	-	-	-	1,16
La ₂ O ₃	9,43	9,65	8,60	9,33	8,83	11,27	10,25	9,30	6,47
Ce ₂ O ₃	23,07	23,66	22,72	21,75	24,47	28,28	24,02	24,49	22,66
Pr ₂ O ₃	2,41	2,66	3,08	2,19	3,19	-	-	2,92	3,17
Nd ₂ O ₃	11,45	11,85	14,97	11,56	12,98	4,36	11,22	12,25	13,12
Sm ₂ O ₃	2,41	2,88	2,78	3,10	3,62	-	-	2,99	4,32
Gd ₂ O ₃	2,00	2,08	1,73	1,83	2,38	-	-	1,75	3,21
CaO	0,62	0,89	0,73	0,84	0,42	4,62	0,60	0,48	0,40
Сумма	69,95	72,09	79,80	67,46	78,12	77,72	67,78	76,75	76,73

Таблица 3.36

Пересчет химического состава перклевеита-(Ce) в формульные коэффициенты на 2 атома Si

Fc \ №	644	648	697	710	718	724	737	738	739
P	0,15	0,13	0,13	0,12	0,08	0,09	0,08	0,07	0,17
Si	1,85	1,87	1,87	1,88	1,92	1,91	1,92	1,93	1,83
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00
Y	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
La	0,38	0,39	0,28	0,41	0,30	0,31	0,35	0,31	0,22
Ce	0,88	0,91	0,69	0,91	0,77	0,73	0,78	0,76	0,72
Pr	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,00	0,00	0,09	0,11
Nd	0,45	0,47	0,47	0,49	0,42	0,11	0,37	0,39	0,43
Sm	0,09	0,11	0,08	0,13	0,11	0,00	0,00	0,09	0,14
Gd	0,07	0,08	0,05	0,07	0,07	0,00	0,00	0,05	0,10
Ca	0,07	0,10	0,07	0,11	0,04	0,36	0,06	0,05	0,04
O	7,16	7,37	6,80	7,50	6,93	6,51	6,54	6,83	6,72

3.3.8. Мусковит (*Muscovite*) - KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂

Хотя этот слоистый алюмосиликат является распространенным минералом, в щелочных породах массива он встречается редко и в крайне мелких выделениях (Рис. 3.32)

Мусковит образует дендритные агрегаты, вместе с анальцимом развиваясь по нефелину. Исходя из этого, можно сделать вывод, что эта слюда один из наиболее поздних минералов, кристаллизуется уже на этапе постмагматической переработки породы.

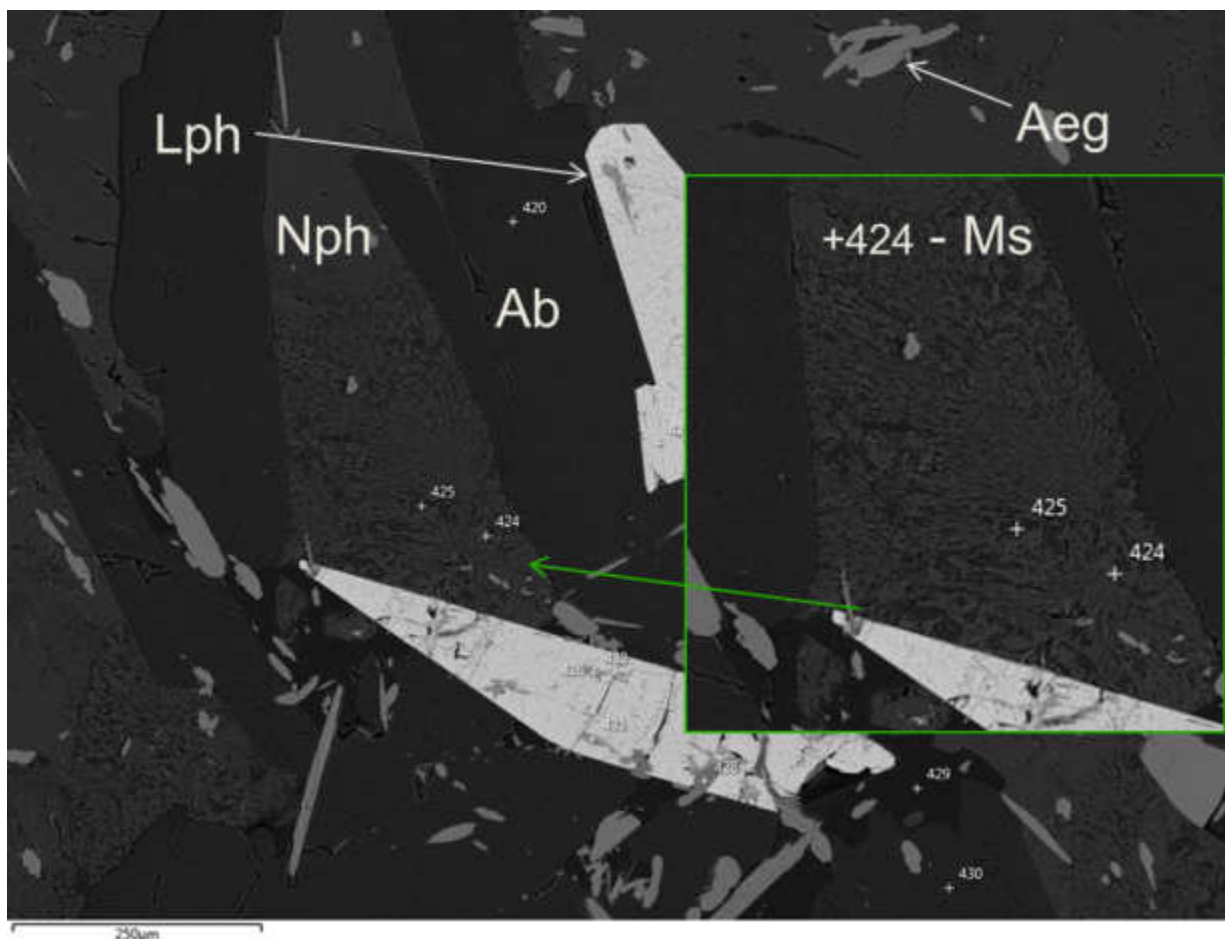
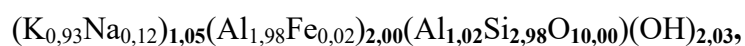


Рисунок 3.32. Прорастания мусковита (спектр 424 (Ms)) по нефелину Nph

Химический состав мусковита типичен для этого минерала (Табл. 3.37). В нем содержится небольшая примесь железа и натрия. Состав был пересчитан в формульные коэффициенты на 6 атомов кремния и алюминия (Таб. 3.38). Рассчитанная формула минерала имеет вид:



что полностью соответствует теоретической.

Таблица 3.37

Химический состав мусковита

мас.% \ №	410	424
SiO ₂	41,98	43,23
Al ₂ O ₃	38,33	36,97
FeO	0,74	0,29
Na ₂ O	1,31	0,92
K ₂ O	10,27	10,59
Сумма	92,63	92,00

Таблица 3.38

Пересчет химического состава мусковита в формульные коэффициенты на 6 атомов Si+Al

Fc \ №	410	424
Si	2,87	2,98
Al	3,09	3,00
Fe	0,04	0,02
Na	0,17	0,12
K	0,90	0,93
O	10,00	10,00
(OH)	1,94	2,03

3.3.9. Анальцим (*Analcime*)- $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$

Анальцим достаточно широко распространен в виде вторичного, развивающегося по другим, более ранним фазам, минерала. Тем не менее, его выделения наблюдались только на микроуровне. Он развивается как по нефелину (ссылка на картинку нефелина) так и по альбиту (Рис. 3.33). В зернах альбита анальцим образуется по краевым частям индивидов, заполняет трещины и другие ослабленные зоны. В пределах зерен нефелина описанный цеолит замещает минерал-хозяин пятнистыми, округлыми выделениями пространственно не привязанными к определенным зонам.

Химический состав анальцима представлен в таблице 3.39. Здесь присутствует примесь кальция до 2,08 мас.%, калия – до 3,75 мас.%, железа – до 0,36 мас.%.

Пересчет химического состава минерала в формульные коэффициенты на 3 атома кремния и алюминия представлен в таблице 3.40. Рассчитанная формула минерала имеет вид: $(\text{Na}_{0,87}\text{K}_{0,05}\text{Ca}_{0,01})_{0,93}(\text{Al}_{1,03}\text{Si}_{1,97}\text{O}_{5,95}) \cdot \text{H}_2\text{O}$

Таблица 3.39

Химический состав анальцима

мас.% \ №	407	409	414	425	429	441
SiO_2	53,56	52,66	51,01	46,79	52,03	48,89
Al_2O_3	21,53	21,11	21,3	28,61	23,08	23,57
FeO	-	-	0,36	-	-	-
CaO	0,96	1,06	-	2,08	0,18	-
Na_2O	9,14	8,73	9,71	10,82	11,81	9,85
K_2O	0,61	1,1	0,63	3,75	0,94	1,98
Сумма	85,8	84,66	83,01	92,04	88,03	84,28

Продолжение таблицы 3.39

мас.% \ №	447	450	455	456	458	611
SiO ₂	50,84	50,99	51,5	49,89	51,53	54,76
Al ₂ O ₃	20,57	21,12	23,08	23,46	21,29	16,11
FeO	-	-	0,27	-	-	-
CaO	-	-	0,45	1,79	-	-
Na ₂ O	9,54	9,57	10,64	9,29	9,83	9,85
K ₂ O	0,45	0,67	0,87	0,85	0,48	-
Сумма	81,91	82,35	86,81	85,28	83,14	80,72

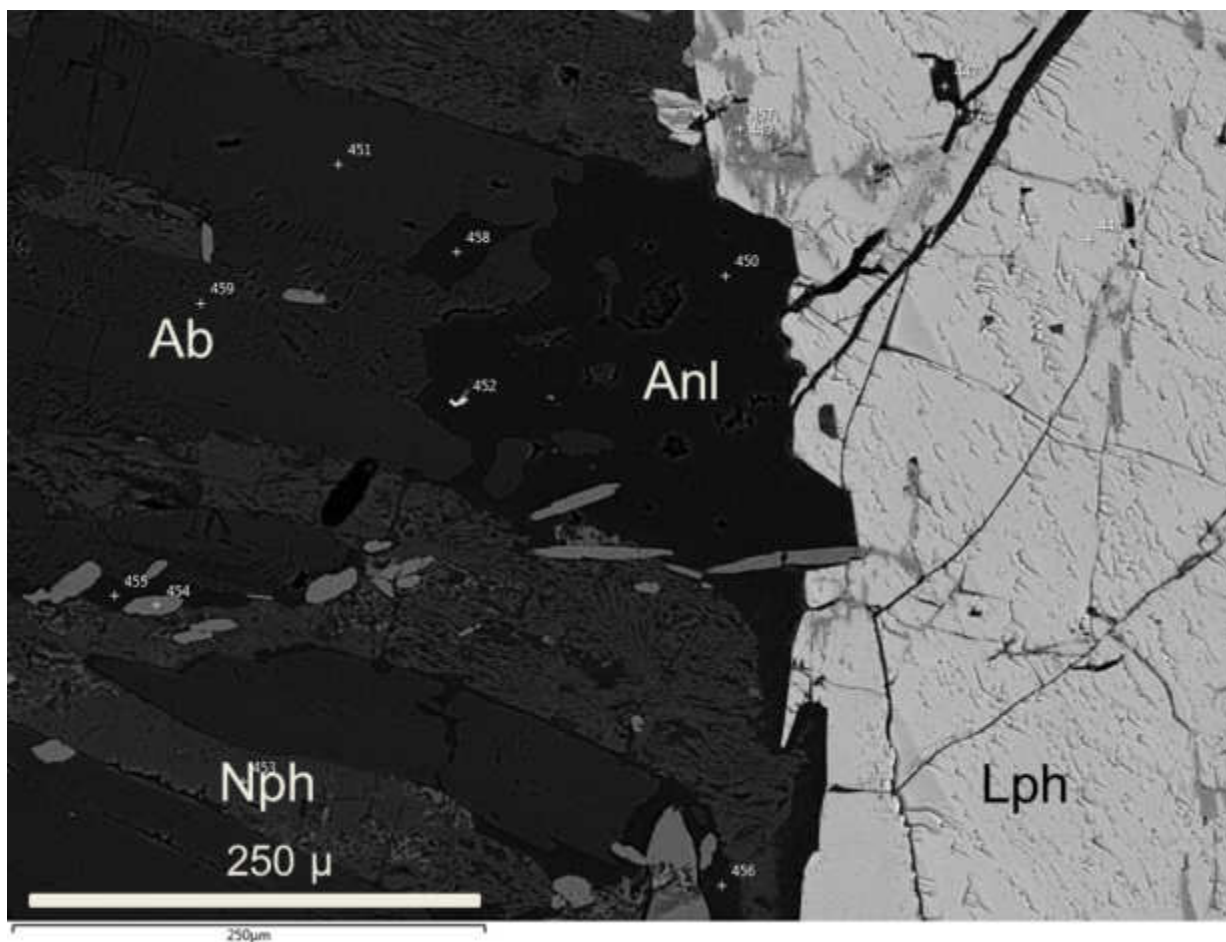


Рисунок 3.33. Развитие анальцима (Anl) по альбиту (Ab)

Таблица 3.40

Пересчет химического состава анальцима в формульные коэффициенты на 3 атома Si+Al

Fc \ №	407	409	414	425	429	441
Si	2,04	2,04	2,01	1,74	1,97	1,91
Al	0,96	0,96	0,99	1,26	1,03	1,09
Fe	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Ca	0,04	0,04	0,00	0,08	0,01	0,00
Na	0,67	0,65	0,74	0,78	0,87	0,75
K	0,03	0,05	0,03	0,18	0,05	0,10
O	5,91	5,92	5,91	5,93	5,95	5,88

Продолжение таблицы 3.40

Fc \ №	447	450	455	456	458	611
Si	2,03	2,02	1,96	1,93	2,02	2,23
Al	0,97	0,98	1,04	1,07	0,98	0,77
Fe	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,02	0,07	0,00	0,00
Na	0,74	0,73	0,79	0,70	0,75	0,78
K	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02	0,00
O	5,90	5,89	5,93	5,91	5,89	6,00

3.3.10. Сепиолит (*Sepiolite*)- $Mg_4(Si_6O_{15})(OH)_2 \cdot 6H_2O$

Нчванингит (*Nchwaningite*)- $Mn_2(SiO_3)(OH)_2 \cdot 3H_2O$

Пирофанит (*Pyrophanite*)- $MnTiO_3$

Отдельно стоит представить вторичную марганцевую и магниевую минерализацию, представленную силикатами – слоистым сепиолитом и близким по структуре к пироксенам – нчванингитом, а так же сложным оксидом - пирофанитом.

Это одни из наиболее поздних образований щелочных пегматитов. Такие минералы, как правило, пространственно расположены в породе рядом, образуя почковидные агрегаты, волокнистые выделения, корки и налет по другим минералам.

Их индивиды и агрегаты приурочены к зернам эвдиалита. Учитывая значительные содержания марганца в последнем, при его разложении, происходит вынос Mn^{2+} с образованием марганцевых минералов и участием марганца в образовании магниевых фаз.

На рисунке 3.34 представлены волокнистые агрегаты сепиолита.

Химический состав минерала представлен в таблице 3.41. Из примесей стоит отметить заметную примесь марганца – до 2,91 мас.%. При пересчете химического состава минерала на 6 атомов кремния и алюминия (Таб.3.42) расчетная формула соответствует теоретической и имеет вид:

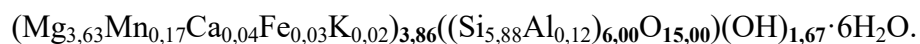


Таблица 3.41

Химический состав сепиолита

мас.% \ №	1418	1419	1420	1411	1412	1437	1369
SiO ₂	58,05	38,27	45,72	43,81	38,64	56,10	58,25
Al ₂ O ₃	1,03	0,68	0,79	0,85	1,00	1,56	1,47
FeO	0,41	0,50	0,37	0,23	0,22	0,24	0,22
MnO	2,04	2,01	1,05	1,01	0,81	2,76	2,91
MgO	24,06	13,88	17,27	17,58	14,26	22,8	23,56
CaO	0,39	0,58	0,44	0,50	0,51	0,27	0,49
K ₂ O	0,17	0,15	0,07	0,07	0,07	0,22	0,20
Сумма	86,15	56,07	65,71	64,05	55,51	83,95	87,10

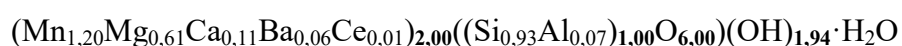
Таблица 3.42

Пересчет химического состава сепиолита в формульные коэффициенты на 6 атомов Si+Al

Fc \ №	1418	1419	1420	1411	1412	1437	1369
Si	5,88	5,88	5,88	5,87	5,82	5,81	5,83
Al	0,12	0,12	0,12	0,13	0,18	0,19	0,17
Fe	0,03	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
Mn	0,17	0,26	0,11	0,11	0,10	0,24	0,25
Mg	3,63	3,18	3,31	3,51	3,20	3,52	3,51
Ca	0,04	0,10	0,06	0,07	0,08	0,03	0,05
K	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03
O	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
(OH)	1,67	1,10	0,94	1,32	0,67	1,46	1,51

На рисунке 3.36 можно наблюдать полость между несколькими зернами эвдиалита, заполненная сростками различных минералов. Здесь сепиолит и нчванингит заполняют пространство между кристаллами эгирина, кальциокатаплеита и альбита.

Химический состав нчванингита представлен в таблице 3.43. Необходимо обратить внимание на колебания марганца и кремния в составе минерала. Это, вероятно, связано с тем, что нчванингит образует довольно тонкие колломорфные пленки, которые могут прожигать пучком электронов до минерала, находящегося ниже, и давать искажения анализа. Тем не менее, при пересчете химического состава в формульные коэффициенты на 1 атом Si+Al (Таб. 3.44) получается корректная формула, отвечающая теоретической:



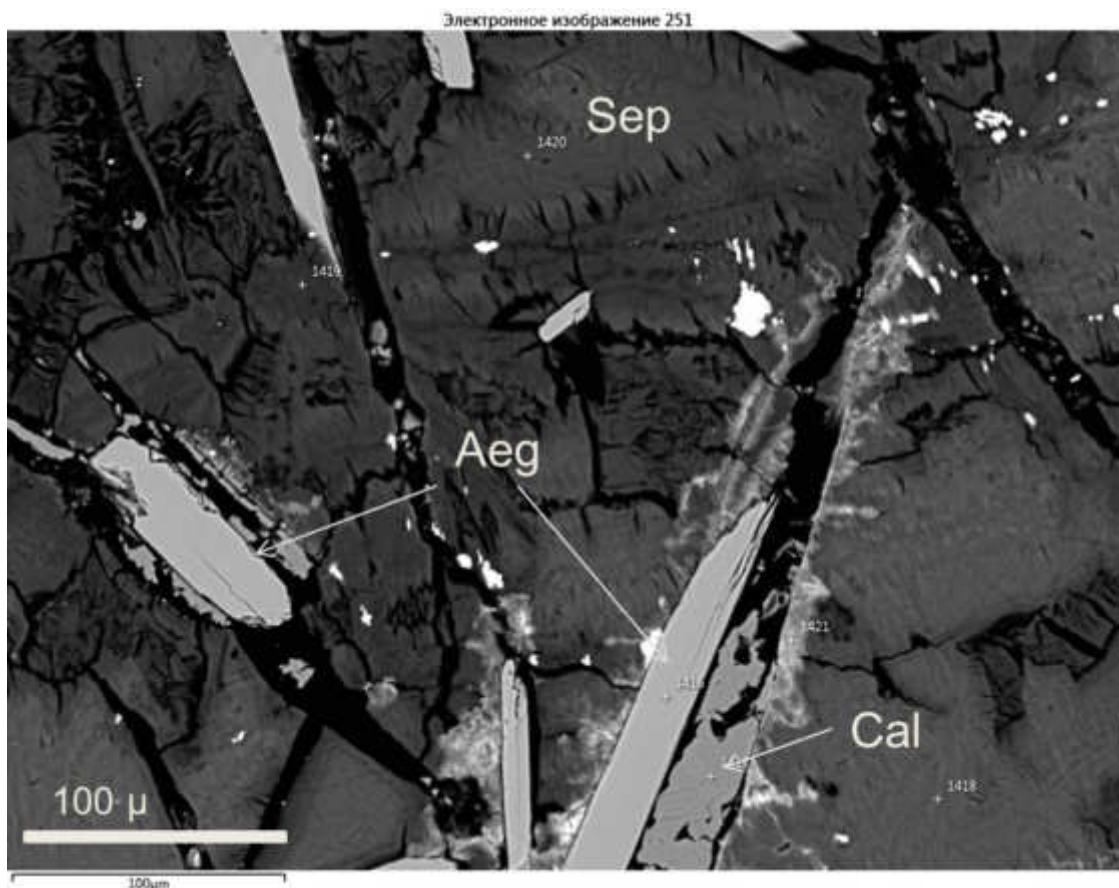


Рисунок 3.34. Волокнистые агрегаты сепиолита (Sep)

При ближайшем рассмотрении можно различимы выделения пирофанита, заполняющего полости между кристаллами эгирина (Рис.3.37), образуя агрегат тонких длиннопризматических кристаллов. Химический состав минерала представлен в таблице 3.45. Кремний захвачен из вмещающего агрегат силиката. При пересчете на 2 атома марганца, титана и железа рассчитанная формула (Таб.3.46) имеет вид:

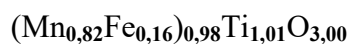


Таблица 3.43

Химический состав нчванингита

мас.% \ №	482	485	609	612	613
SiO ₂	21,11	20,21	22,66	14,75	18,39
ZrO ₂	-	1,33	-	-	-
Al ₂ O ₃	2,83	1,34	1,43	2,92	3,07
Nb ₂ O ₅	-	0,59	-	-	-
Ce ₂ O ₃	0,52	-	0,85	-	0,58
MnO	37,45	36,62	34,51	44,27	41,84
MgO	12,72	8,30	9,98	9,06	10,80
CaO	2,64	3,06	2,59	2,77	2,53
BaO	2,33	4,4	3,78	3,39	2,58
K ₂ O	0,14	0,45	-	0,13	0,13
Сумма	79,74	76,30	75,82	77,28	79,91

Пересчет химического состава сепиолита в формульные коэффициенты на 1 атом Si+Al

Fc \ №	482	485	609	612	613
Si	0,86	0,93	0,93	0,81	0,84
Zr	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Al	0,14	0,07	0,07	0,19	0,16
Nb	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Ce	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Mn	1,30	1,42	1,20	2,06	1,61
Mg	0,78	0,57	0,61	0,74	0,73
Ca	0,12	0,15	0,11	0,16	0,12
Ba	0,04	0,08	0,06	0,07	0,05
K	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01
O	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
(OH)	2,35	2,58	1,94	3,90	2,89

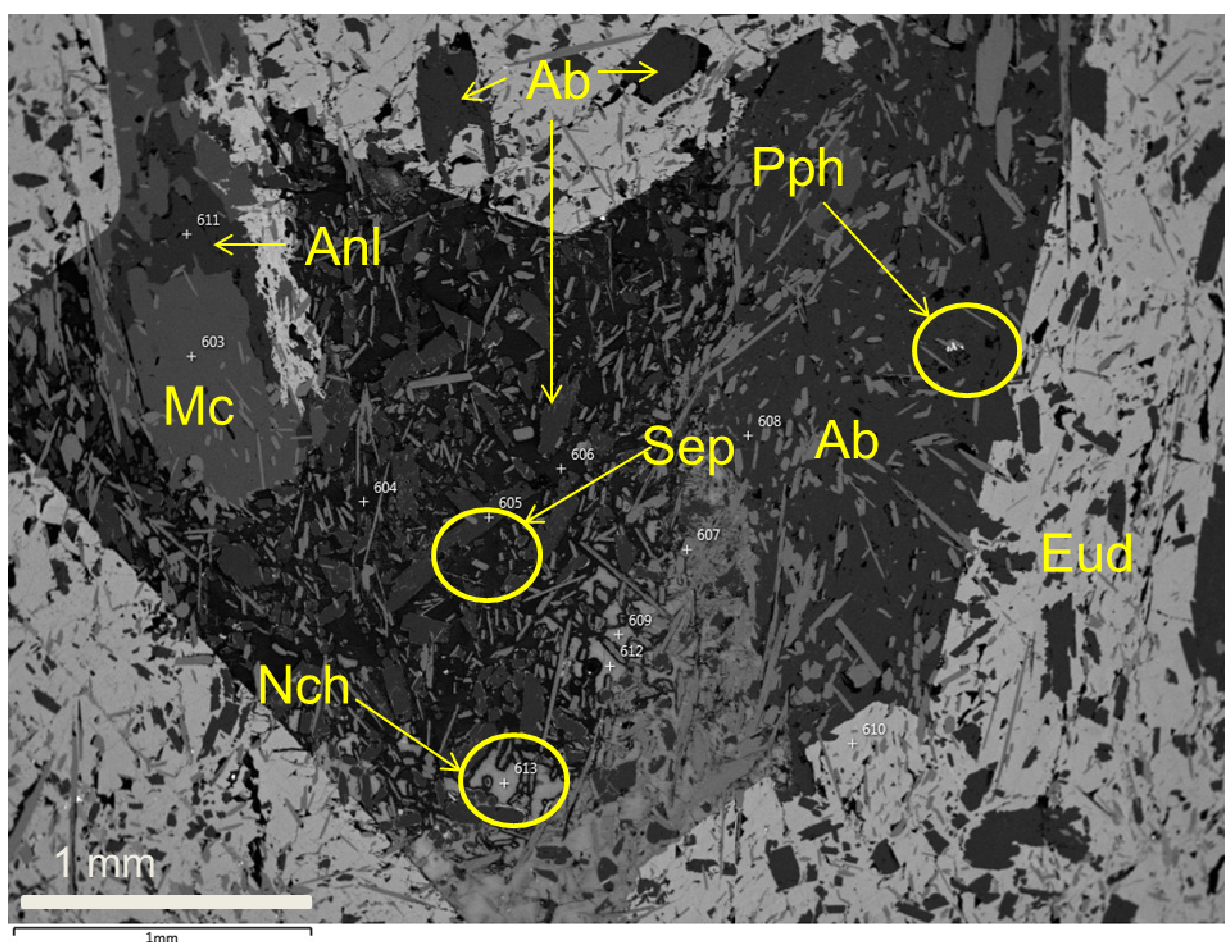


Рисунок 3.36. В пространстве между зернами эвдиалита развиваются вторичные минералы, в том числе – нчванингит, пирофанит и сепиолит

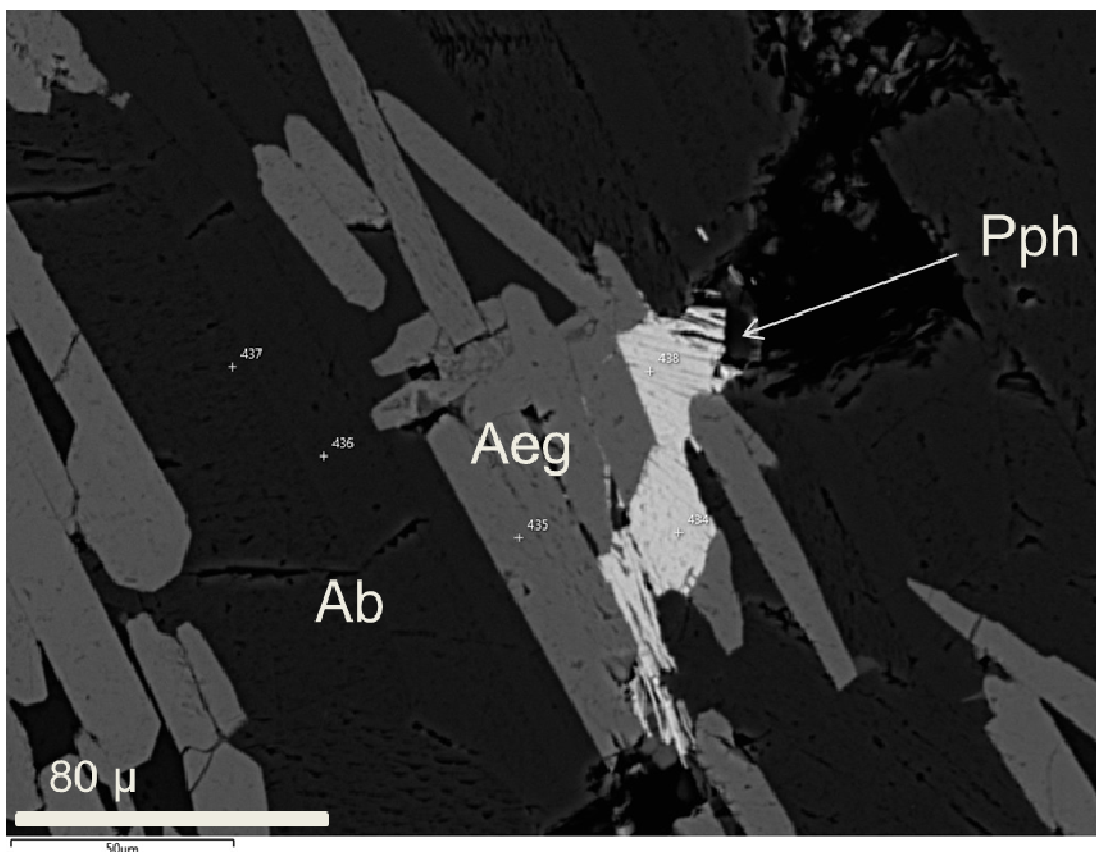


Рисунок 3.37. Пирофанит (Pph) заполняет полость между кристаллами эгирина (Aeg)

Таблица 3.45

Химический состав пирофанита

мас.% \ №	434	438
TiO ₂	52,83	53,43
MnO	41,16	38,68
FeO	3,50	3,92
Сумма	98,51	97,19

Таблица 3.46

Пересчет химического состава пирофанита в формульные коэффициенты на 2 атома Mn+Ti+Fe

Fc \ №	434	438
Ti	0,99	1,01
Mn	0,87	0,82
Fe	0,15	0,16
O	3,00	3,00

3.3.11. Стронадельфит (*Stronadelphite*)- $\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$

Фторапатит (*Fluorapatite*) - $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$

Фосфаты достаточно широко распространены в пегматитах Кондёрского массива. Они образуют несколько минеральных видов, описанных в этом разделе. Все они образуют мельчайшие выделения, заполняя пустоты в породе и трещины в окружающих минералах. Широко распространены фосфаты группы апатита и имеющие апатитоподобную структуру. При этом сам апатит встречается в описанных породах редко и образует фтор-содержащую разновидность – фторапатит. Химический состав минерала постоянен. Он отвечает теоретической $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ формуле и не содержит в составе примесей.

Гораздо интереснее апатитоподобные фазы. Одним из таких минералов является стронадельфит (Рис.3.38). Он был утвержден комиссией по новым минералам в 2008 году, до настоящего момента единственным местом проявления данного минерала была мурманская область, где он был обнаружен в двух местах – Ловозерском и Хибинском массивах.

По своей структуре он является стронциевым аналогом фторапатита. Химический состав Кондёрского стронадельфита показан в таблице 3.47. Он отвечает теоретической формуле, присутствует незначительная примесь $\text{Fe}(2+)$, Ва, и более существенная (до 0,57 формульных коэффициентов) примесь Са. Учитывая ограниченность используемого метода, необходимо уточнить, что фтор был замерен качественно, таким образом мы можем лишь констатировать его количество, потому в формуле фтор рассчитан теоретически.

При пересчете в формульные коэффициенты (таб. 3.48) на 3 атома фосфора стронадельфит массива Кондер имеет следующую формулу, отвечающую теоретической:

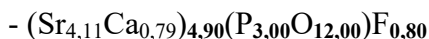


Таблица 3.47

Химический состав стронадельфита из щелочных пегматитов массива Кондер.

мас.% \ №	84	85	452
P_2O_5	30,43	30,34	25,74
FeO	0,43	0,52	-
SrO	61,2	60,43	51,49
CaO	5,33	5,62	5,35
BaO	0,79	1,15	-
Сумма	98,18	98,06	82,58

Пересчет химического состава стронадельфита в формульные коэффициенты на 3 атома фосфора.

Fc \ №	84	85	452
P	3,00	3,00	3,00
Fe ²⁺	0,04	0,05	-
Sr	4,13	4,09	4,11
Ca	0,67	0,70	0,79
Ba	0,04	0,05	-
O	12,00	12,00	12,00
F	0,76	0,80	0,80

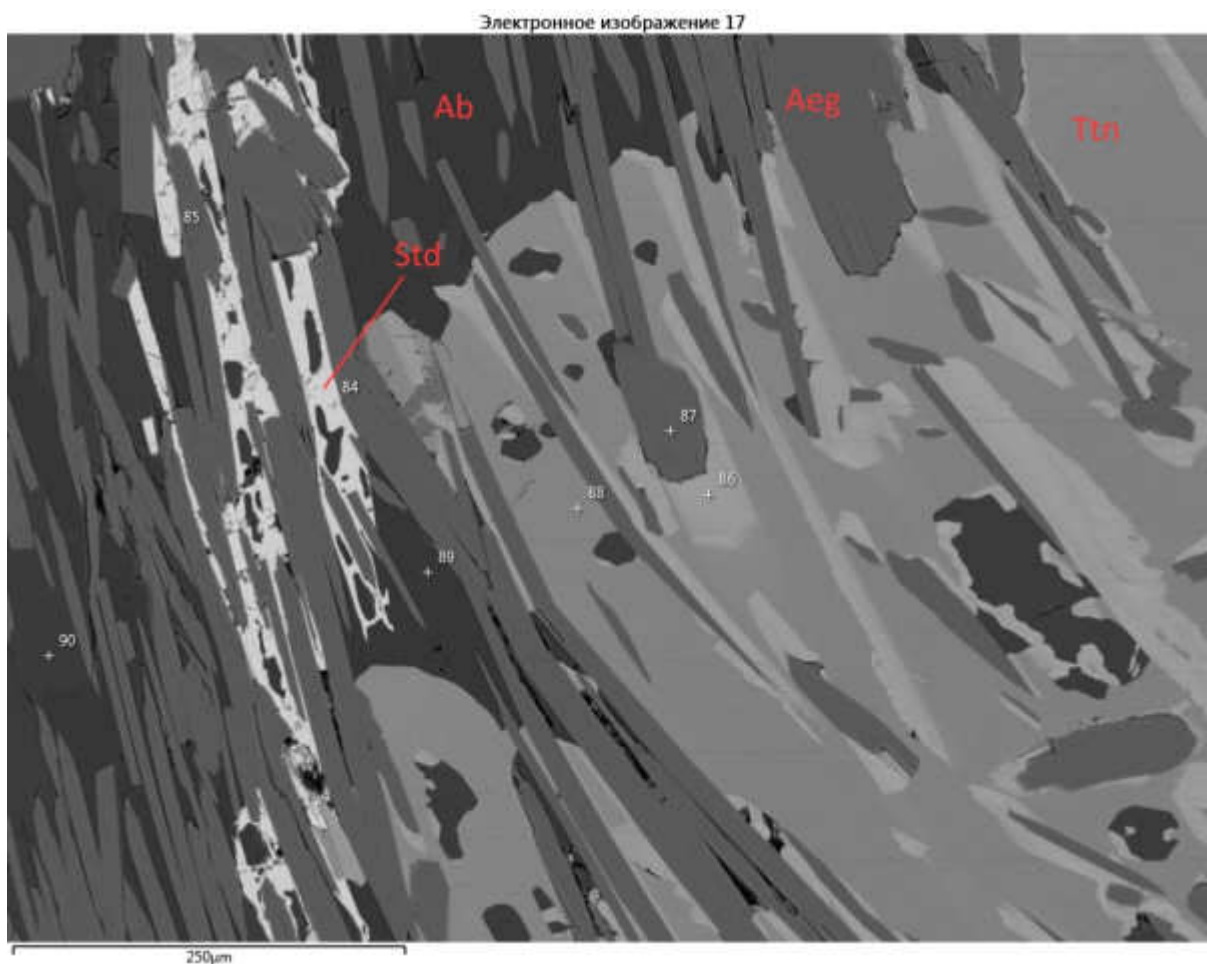


Рисунок 3.38. BSE-изображение. Выделения стронадельфита (Std) (спектр 84, 85) между кристаллами эгирина

3.3.12. Высокостронциевый апатит (Фторкафит?) (*Fluorcaphte*) - $\text{CaSrCa}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$

Другой минерал группы апатита – высокостронциевый апатит. Он образует мелкие изометричные выделения. Наиболее интересным индивидом этого минерала, встреченным в щелочных породах Кондёрского комплекса, было зональное зерно размером около 100 микрон (Рис. 3.39). Здесь отчетливо видна зональность, которую удалось проанализировать при помощи ЭДС-анализа.

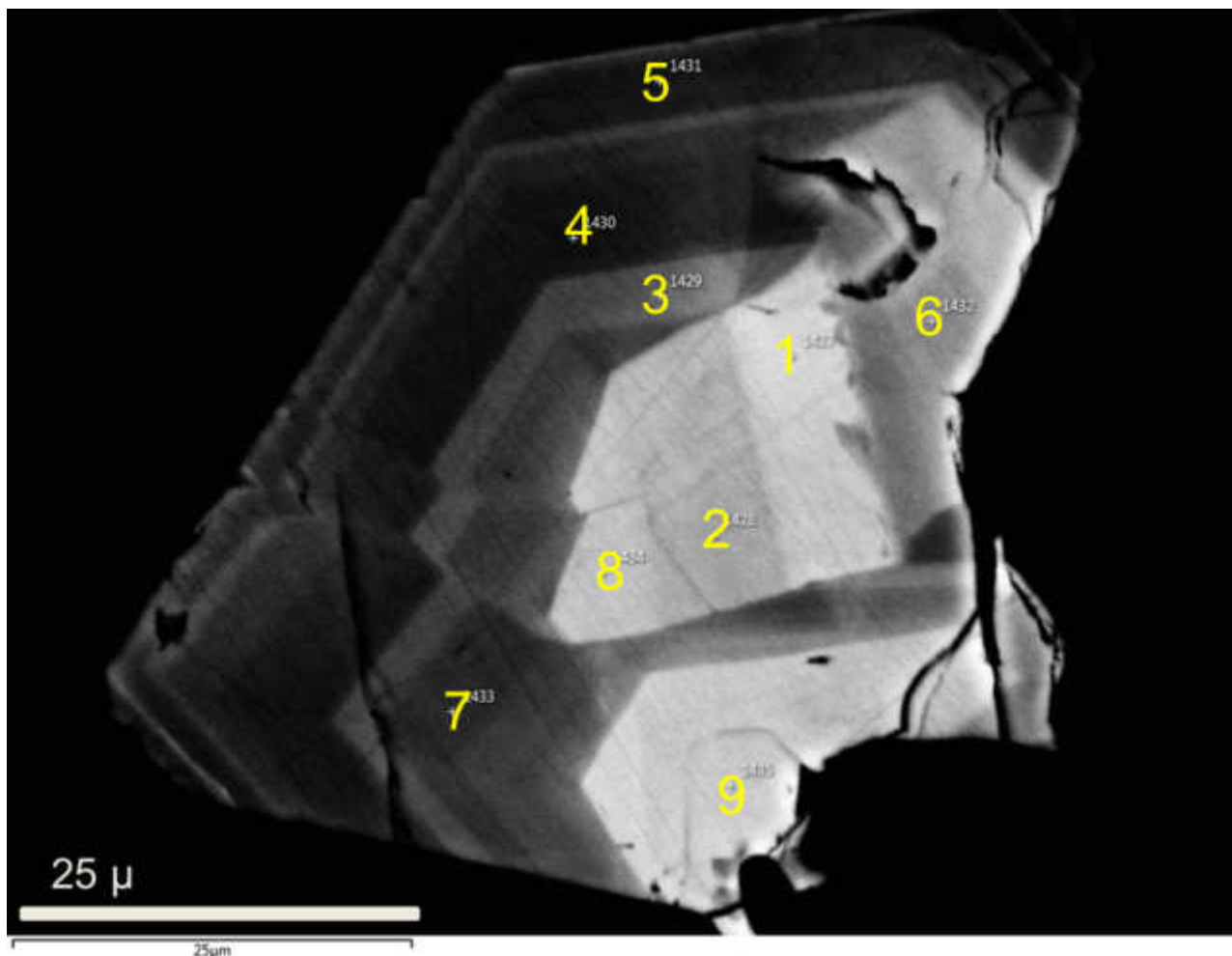


Рисунок 3.39. Зональный кристалл высокостронциевого апатита

Описанный кристалл был проанализирован в девяти различных по контрасту точках (Таб. 3.49). Химический состав минерала был пересчитан в формульные коэффициенты на 3 атома фосфора, результаты представлены в таблице 3.50. Как и предполагалось, основными элементами, оказывающими влияние на контраст, оказались кальций и стронций. Если транслировать полученные данные на изображение кристалла видно, что максимальные значения содержаний стронция (1,19) отвечают центральным зонам зерна, минимальные (0,34 ф.к.) – краевым. Причем, если содержания стронция в

краевой части зерна отвечают апатиту со значительным содержанием стронция, то в центральной части зерна формульный коэффициент элемента превышает единицу, что формально дает повод называть его фторкафитом (fluorcapit) - $\text{SrCaCa}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$. Это высокоупорядоченный апатитоподобный минерал (Хомяков и др., 1997) из группы беловита. В целом же, рассчитанная формула минерала имеет следующий вид:

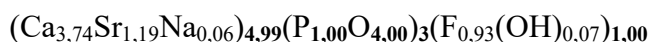


Таблица 3.30

Химический состав высокостронциевого апатита

мас.% \ №	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F	2,62	2,70	2,30	2,62	2,86	2,78	2,49	2,05	2,65
P ₂ O ₅	36,74	37,39	39,16	39,75	40,61	37,93	39,32	36,98	36,50
FeO	-	0,20	0,25	-	0,25	0,39	0,23	0,27	0,33
Ce ₂ O ₃	-	-	1,13	-	0,91	-	0,94	-	-
Nd ₂ O ₃	-	-	0,98	-	0,65	-	0,76	-	-
SrO	21,35	19,48	10,72	8,01	6,7	16,17	8,35	20,94	21,08
CaO	36,19	38,81	43,81	48,18	47,95	40,57	46,3	37,18	36,68
Na ₂ O	0,34	-	0,55	0,20	0,43	0,23	0,50	0,19	0,15
Сумма	97,24	98,58	98,9	98,76	100,36	98,07	98,89	98,06	97,39

Таблица 3.31.

Пересчет химического состава высокостронциевого апатита в формульные коэффициенты на 3 атома фосфора.

Fc \ №	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F	0,93	1,02	0,92	1,07	0,86	0,92	1,07	1,00	1,03
P	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00
Nd	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00
Sr	1,19	1,07	0,56	0,41	0,34	0,88	0,44	1,16	1,19
Ca	3,74	3,94	4,25	4,60	4,48	4,06	4,47	3,82	3,82
Na	0,06	0,00	0,10	0,03	0,07	0,04	0,09	0,04	0,03
O	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00

3.3.13. Ксенотим-Y (*Xenotime-(Y)*) - Y(PO₄)

Распространенный минерал. Фосфат иттрия и тяжелых редкоземельных элементов. Этот минерал интересен необычными выделениями. Если обычно фосфаты и другие «редкие» минералы заполняют каверны и трещин, образуя ксеноморфные выделения, то ксенотим образует почковидные агрегаты, прорастающие на других минералах (Рис. 3.40, 3.41).

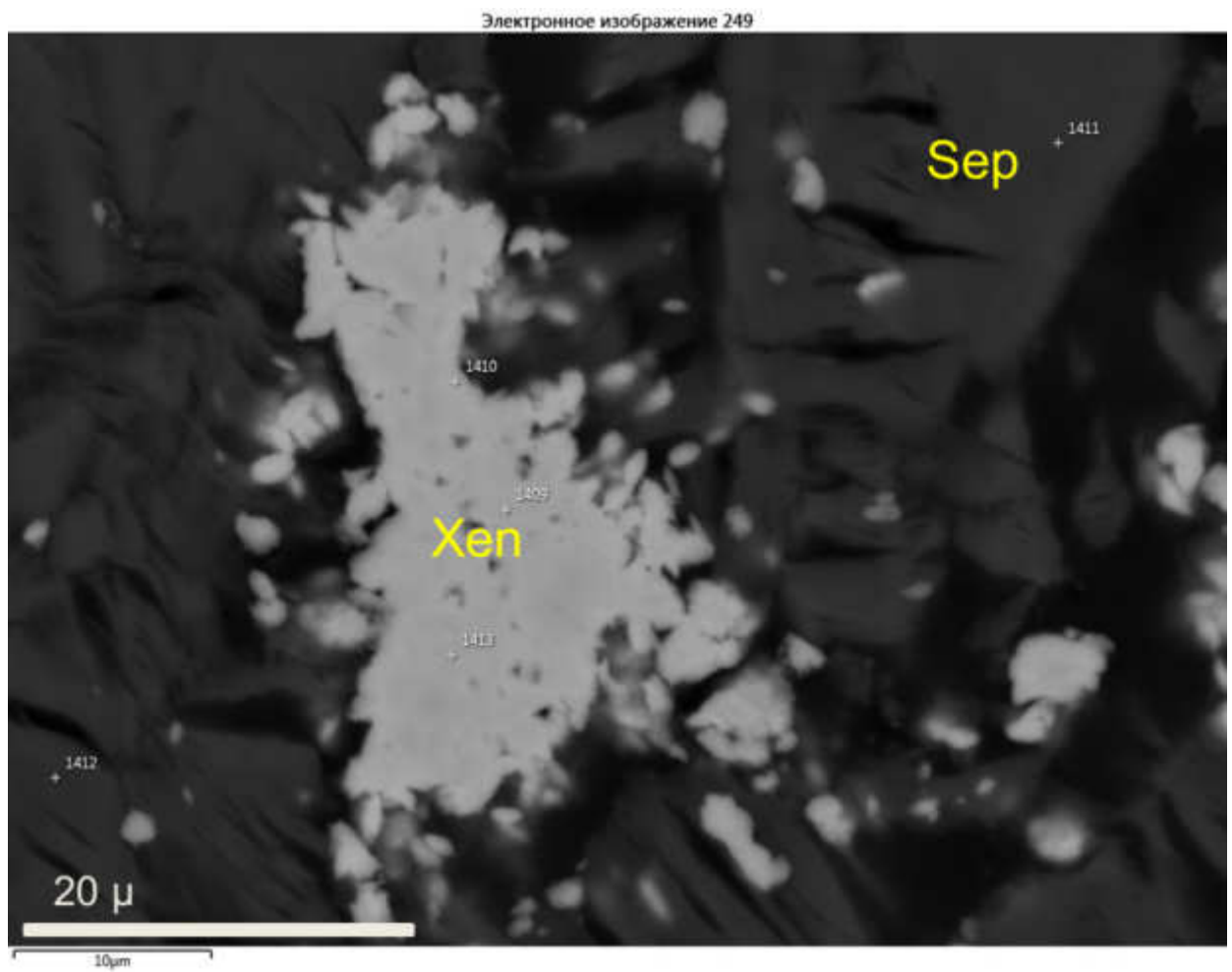


Рисунок 3.40.. Почковидные агрегаты ксенотима-(Y) (Xen)

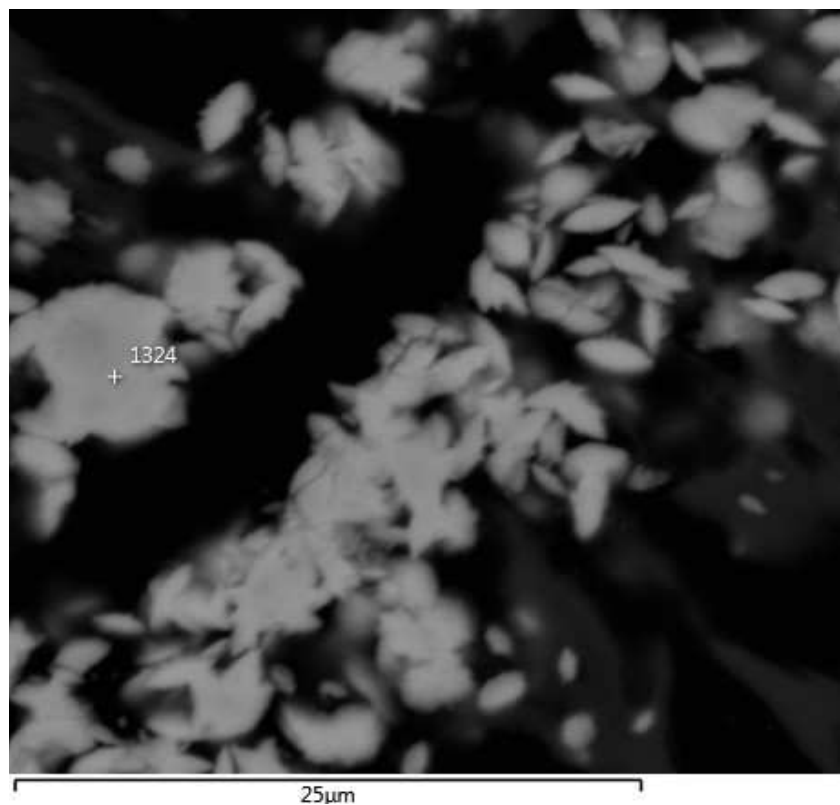


Рисунок 3.41. Почковидные агрегаты ксенотима-(Y) (Xen)

В химическом составе минерала (Таб. 3.32) присутствует целый спектр тяжелых редкоземельных элементов, церий и неодим. Стоит так же отметить примесь ванадия до 4,43 мас.%, вероятно, входящего в позицию фосфора и крайне значительную примесь кремния, в некоторых случаях превышающую количество фосфора. Возможно, это связано с малой мощностью выделений и, как следствие, захватом пучком электронов нижележащего кремнистого вещества.

Пересчет химического состава в формульные коэффициенты на 3 атома P+Si+V представлен в таблице 3.33, а рассчитанная формула минерала выглядит так:



Соотношение элементов соответствует теоретической формуле.

Таблица 3.32

Химический состав ксенотима-(Y)

мас.% \ №	1410	1413	1409	495	497	502	503	505
P ₂ O ₅	21,84	21,90	21,40	14,24	11,53	14,33	14,43	15,33
V ₂ O ₅	1,91	1,88	1,95	3,67	4,43	3,96	3,84	3,79
SiO ₂	7,16	5,47	5,23	11,66	13,18	11,86	12,65	8,94
Y ₂ O ₃	31,56	33,77	32,9	35,88	32,69	36,41	37,68	34,77
Ce ₂ O ₃	-	-	-	9,83	11,27	8,93	8,54	6,53
Nd ₂ O ₃	1,02	0,71	-	-	-	1,14	0,92	-
Sm ₂ O ₃	0,98	1,16	-	-	-	0,85	0,96	-
Gd ₂ O ₃	2,95	3,20	2,82	1,84	2,17	2,39	2,03	2,39
Ho ₂ O ₃	1,28	0,98	-	-	-	-	-	-
Tb ₂ O ₃	0,58	-	-	-	-	-	-	-
Dy ₂ O ₃	6,70	6,88	6,93	3,47	2,98	3,36	3,69	3,56
Eu ₂ O ₃	0,77	0,80	-	-	-	0,78	0,92	-
Er ₂ O ₃	3,99	4,21	4,27	2,11	2,14	2,07	2,15	2,45
Yb ₂ O ₃	3,71	4,15	4,11	1,31	-	1,66	1,63	-
CaO	1,81	1,73	1,83	1,34	1,27	1,28	1,24	1,37
Сумма	86,26	86,84	81,44	85,35	81,66	89,02	90,68	79,13

Таблица 3.33.

Пересчет химического состава ксенотима-(Y) в формульные коэффициенты на 3 атома фосфора.

Fc \ №	1410	1413	1409	495	497	502	503	505
P	0,69	0,73	0,74	0,46	0,38	0,46	0,45	0,53
V	0,05	0,05	0,05	0,09	0,11	0,10	0,09	0,10
Si	0,27	0,22	0,21	0,45	0,51	0,45	0,46	0,37
Y	0,62	0,71	0,71	0,73	0,67	0,73	0,73	0,76
La	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce	0,00	0,00	0,00	0,14	0,16	0,12	0,11	0,10
Nd	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00
Sm	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Gd	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
Ho	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tb	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy	0,08	0,09	0,09	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
Eu	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Er	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03
Yb	0,04	0,05	0,05	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00
Ca	0,07	0,07	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06
O	3,77	3,95	3,89	3,79	3,68	3,83	3,81	3,83

3.3.14. Бритолит-(Ce) (*Britholite-(Ce)*) - $(CaCe)Ce_3((Si,P)O_4)_3(O,F)$

Этот минерал, как и некоторые описанные ранее, имеет апатитоподобную структуру. В целом, минералы группы бритолита можно описать общей формулой $(REE, Ca)_5[(Si,P)O_4]_3X$. Как видно, отличительной чертой минерала является значительные содержания как кремния, так и фосфора в составе, а также совокупность редкоземельных элементов. Описанный в пегматитах Кондёра минерал является Ce-доминантным видом, исходя из чего его можно отнести к минеральному виду бритолита-(Ce).

В описанных породах он встречается крайне редко. Являясь относительно поздним образованием, бритолит заполняет полости, образуя тонкую вкрапленность, напоминающую корки вокруг зерен альбита (Рис. 3.42, 3.43). Можно наблюдать некоторую зональность выделений, которая, как можно заметить по представленному в таблице 3.34 химическому составу, связана с колебаниями содержаний различных редкоземельных элементов. Стоит также отметить весомое количество ванадия в составе бритолита-(Ce) – до 7,58 мас% V_2O_5 .

Пересчет химического состава в формульные коэффициенты на 3 атома Si+P представлен в таблице 3.35. Ввиду незначительных и тонких выделений наблюдается некоторая погрешность в расчете формул – недостаток содержания редкоземельных элементов в составах краевых зон. Тем не менее, составы центральной части зерен полностью отвечают теоретической формуле минерала. Например формула, рассчитанная по спектру 1406 будет иметь следующий вид:

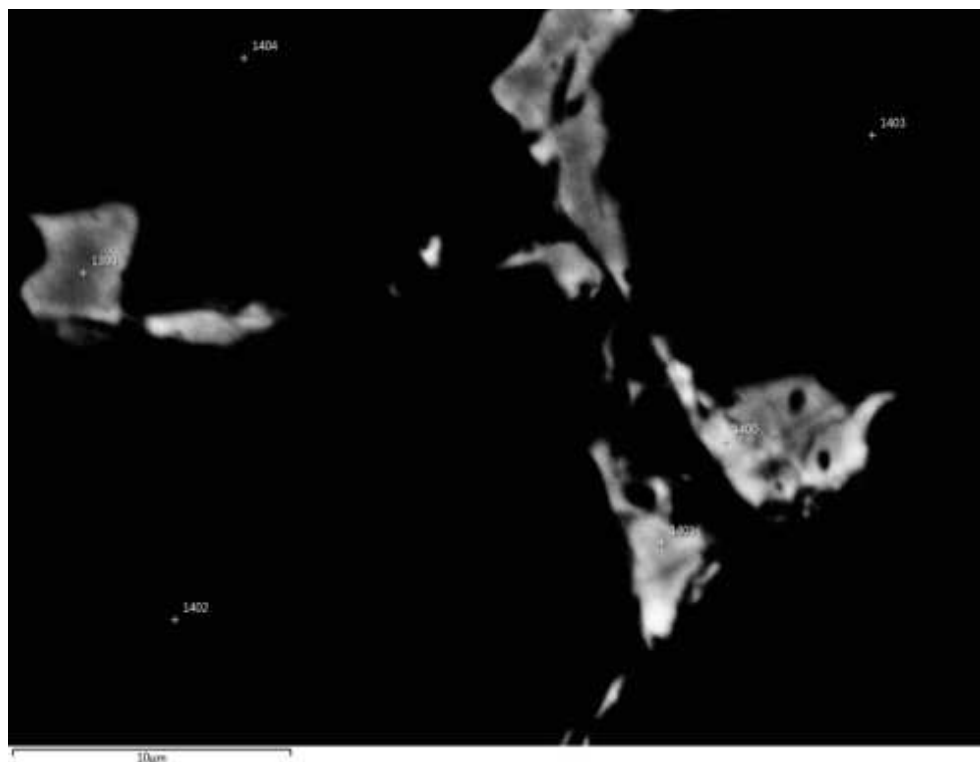


Рисунок 3.42. Корки бритолита-(Ce).

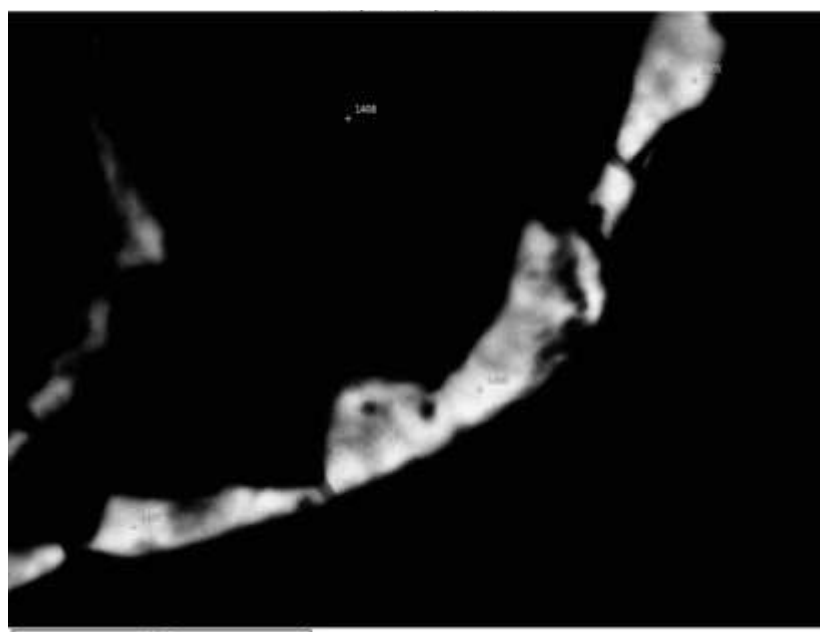


Рисунок 3.43. Корки бритолита-(Ce).

Таблица 3.34

Химический состав бритолита-(Ce)

мас.% \ №	1397	1399	1400	1401	1405	1406	1407
P ₂ O ₅	9,29	12,53	11,06	10,70	8,11	6,74	9,81
V ₂ O ₅	5,19	4,73	6,23	7,58	5,91	4,18	7,55
SiO ₂	12,14	11,17	9,32	11,23	13,11	10,04	13,49
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,00	0,59
Y ₂ O ₃	2,92	16,64	10,37	12,72	9,32	6,75	12,81
La ₂ O ₃	2,43	0,59	3,46	1,22	2,26	3,20	1,38
Ce ₂ O ₃	33,80	21,98	22,13	24,73	27,41	30,34	25,75
Nd ₂ O ₃	10,49	0,00	6,91	2,87	4,51	5,39	2,36
Gd ₂ O ₃	0,31	2,11	0,00	1,77	1,41	0,59	1,43
Dy ₂ O ₃	0,54	4,66	2,33	3,54	1,97	1,38	2,59
Er ₂ O ₃	0,00	2,19	1,06	1,94	0,00	0,00	1,35
Yb ₂ O ₃	0,00	2,23	1,28	1,54	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	0,00	0,00
CaO	4,60	2,72	4,25	3,58	3,69	4,68	3,53
Сумма	81,71	81,55	78,4	83,42	79,16	73,29	82,64

Таблица 3.35

Пересчет химического состава бритолита-(Ce) в формульные коэффициенты на 3 атома

P+Si

Fc \ №	1397	1399	1400	1401	1405	1406	1407
P	1,18	1,46	1,50	1,34	1,03	1,09	1,14
V	0,51	0,43	0,66	0,74	0,59	0,53	0,69
Si	1,82	1,54	1,50	1,66	1,97	1,91	1,86
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,10
Y	0,23	1,22	0,89	1,00	0,74	0,68	0,94
La	0,13	0,03	0,20	0,07	0,13	0,22	0,07
Ce	1,86	1,11	1,30	1,34	1,51	2,12	1,30
Nd	0,56	0,00	0,40	0,15	0,24	0,37	0,12
Gd	0,02	0,10	0,00	0,09	0,07	0,04	0,07
Dy	0,03	0,21	0,12	0,17	0,10	0,08	0,11
Er	0,00	0,09	0,05	0,09	0,00	0,00	0,06
Yb	0,00	0,09	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00
Ca	0,74	0,40	0,73	0,57	0,59	0,96	0,52
O	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
(OH)	1,71	0,97	3,35	3,10	2,05	4,17	1,89

3.3.15. Монацит – Ce (*Monazite-(Ce)*) - (Ce)(PO₄)

Монацит – Nd (*Monazite-(Nd)*) - (Nd)(PO₄)

Как и другие редкие минералы Кондера образует мелкие выделения (рис. 3.44).
Химический состав представлен в таб. 3.36.

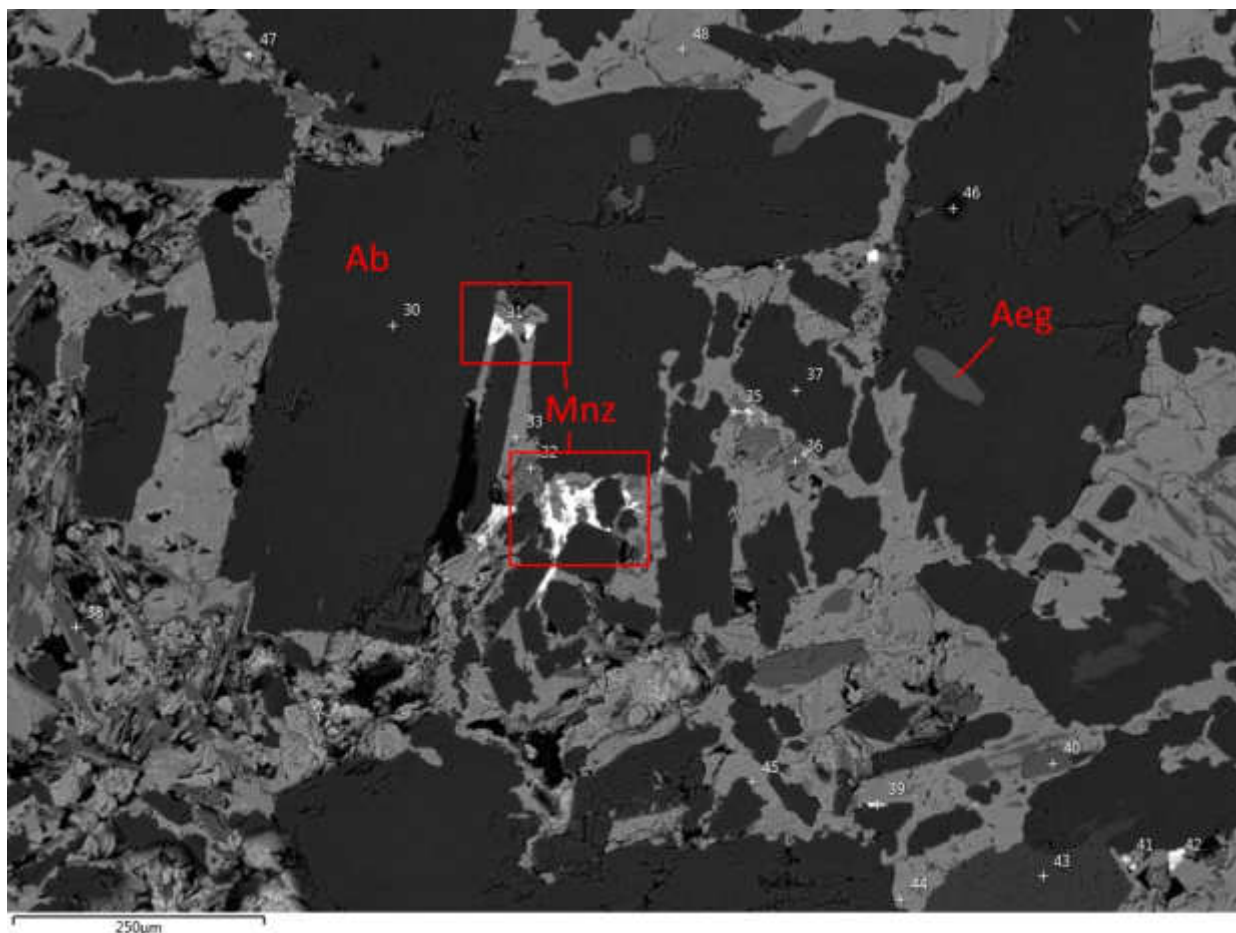


Рисунок 3.44. BSE-изображение. Монацит (Mnz) (спектр 31, 34) заполняет пустоты между зернами альбита (Ab).

Исходя из таб. 3.36., в составе монацита из щелочных пегматитов Кондерского массива наблюдается несколько редкоземельных элементов: Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, однако доминирует именно Ce, таким образом данный монацит можно более точно охарактеризовать как монацит-(Ce).

При пересчете химического состава на формульные коэффициенты (таб. 3.37) на 1 атом Si+P получается следующая формула:

- (Ce_{0,42}Nd_{0,20}La_{0,17}Sm_{0,05}Gd_{0,05}Pr_{0,05}Ca_{0,04}Dy_{0,03})_{1,00}((P_{0,94}Si_{0,06})_{1,00}O_{3,96}) - спектр 698, которая соответствует теоретической формуле монацита.

Таблица 3.36

Химический состав монацита-(Ce) из щелочных пегматитов Кондерского массива.

мас.% \ №	698	762
P ₂ O ₅	25,81	29,63
SiO ₂	1,31	1,63
Y ₂ O ₃	-	2,72
La ₂ O ₃	10,91	12,17
Ce ₂ O ₃	26,79	26,94
Pr ₂ O ₃	2,88	2,80
Nd ₂ O ₃	13,08	12,60
Sm ₂ O ₃	3,56	2,81
Gd ₂ O ₃	3,17	2,21
Dy ₂ O ₃	1,83	-
CaO	0,79	1,80
сумма	90,13	95,31

Таблица 3.37

Пересчет химического состава монацита в формульные коэффициенты на 1 атом Si+P.

Fc \ №	698	762
P	0,94	0,94
Si	0,06	0,06
Y	-	0,05
La	0,17	0,17
Ce	0,42	0,37
Pr	0,05	0,04
Nd	0,20	0,17
Sm	0,05	0,04
Gd	0,05	0,03
Dy	0,03	-
Ca	0,04	0,07
O	3,96	3,83
сумма	5,96	5,77

В щелочных пегматитах Кондёрского массива также был встречен минерал, отвечающий, вероятно, неодим - доминантной разновидности монацита. Он образуется в краевой части изометричных выделений кальцита (Рис. 3.45) в виде некрупных пятен. Можно предположить, что минерал развивается по нему на стадии гидротермальной переработки пегматита.

Расчет химического состава минерала (Таб. 3.38) на 1 атом Si+P (Таб. 3.39), в целом, соответствует теоретической формуле минерала, однако, по расчетным данным, содержания редких земель и кальция несколько выше (1,34 и 1,28 ф.к. при нормальном значении 1,00 ф.к.). Это можно связать с недостаточным размером зерен и, возможно,

захватом пучком электронов вмещающего вещества. Тем не менее, предположение о присутствии данной фазы в составе пегматита, по всей видимости, соответствует действительности.

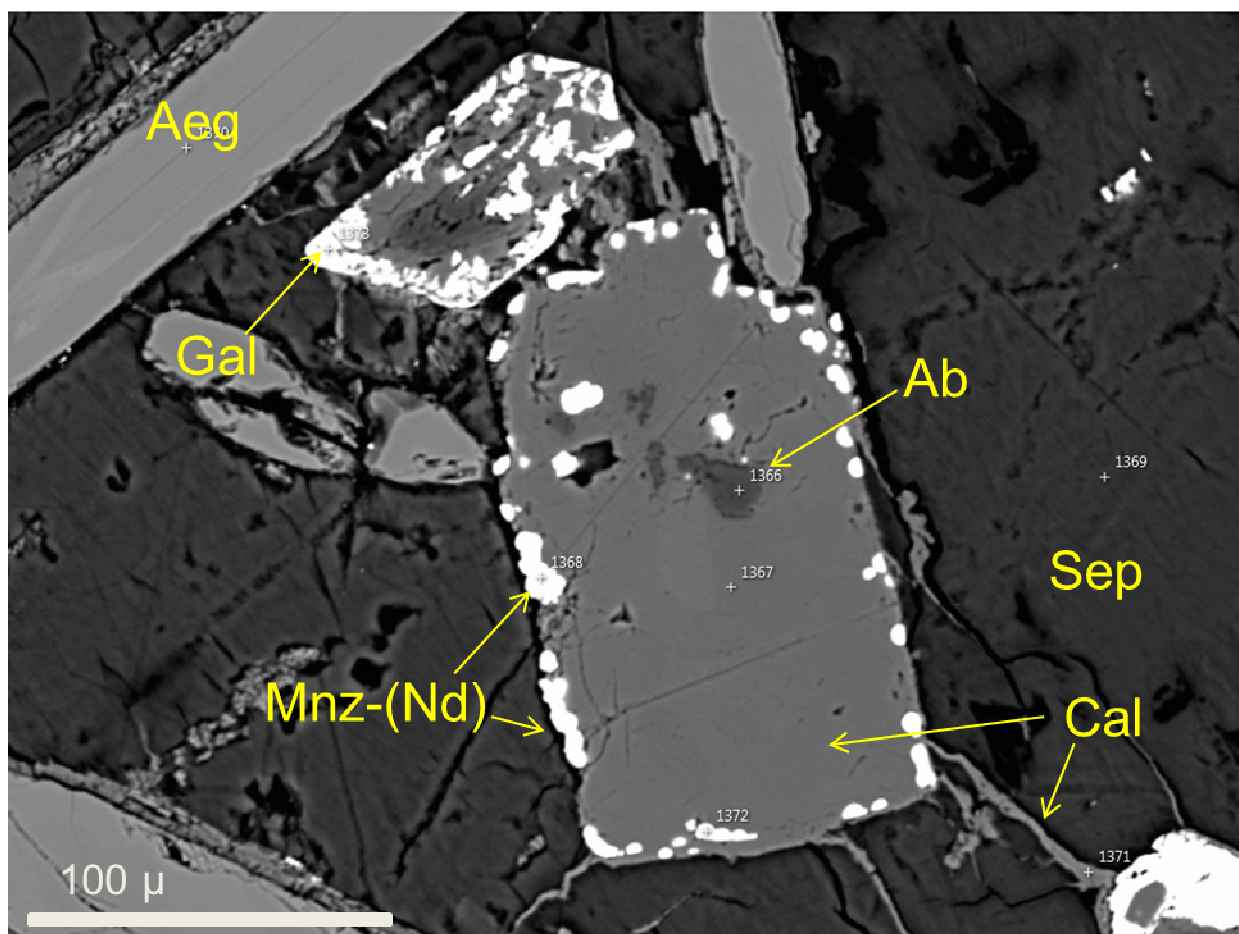


Рисунок 3.45. Развитие неодим-доминантного монацита (?) (Mnz-(Nd)) по альбиту (Ab), замещенному кальцитом (Cal)

Таблица 3.38

Химический состав Nd-доминантного монацита (?)

мас.% \ №	1368	1372
P ₂ O ₅	24,78	25,50
SiO ₂	0,84	1,22
Y ₂ O ₃	7,09	6,97
La ₂ O ₃	9,68	9,02
Ce ₂ O ₃	0,00	2,66
Pr ₂ O ₃	3,76	3,65
Nd ₂ O ₃	17,72	16,66
Sm ₂ O ₃	4,80	4,68
Gd ₂ O ₃	3,35	3,20
Dy ₂ O ₃	2,12	2,31
Eu ₂ O ₃	1,88	1,54
CaO	8,29	10,55
Сумма	84,31	87,96

Пересчет химического состава Nd-доминантного монацита (?) в формульные коэффициенты на 1 атом Si+P.

Fc \ №	1368	1372
P	0,96	0,95
Si	0,04	0,05
Y	0,17	0,16
La	0,16	0,15
Ce	0,00	0,04
Pr	0,06	0,06
Nd	0,29	0,26
Sm	0,08	0,07
Gd	0,05	0,05
Dy	0,03	0,03
Eu	0,03	0,02
Ca	0,41	0,50
O	4,20	4,23

3.3.16. Гальгенбергит-(Ce) (*Galgenbergite-(Ce)*)- $\text{CaCe}_2(\text{CO}_3)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Кальцит (*Calcite*) – $\text{Ca}(\text{CO}_3)$

Другими, крайне интересными образованиями массива являются карбонаты. Они представлены двумя разновидностями: довольно тривиальным минералом – кальцитом и редкой фазой, карбонатом редкоземельных элементов, гальгенбергитом-(Ce).

Эти минералы являются наиболее поздними образованиями пород. Кальцит образует каемки вокруг зерен альбита и эгирина (Рис. 3.46) и заполняет микротрещины в породе, а в некоторых случаях (Рис. 3.45) полностью замещает зерно альбита, сохраняя при этом морфологию последнего. Гальгенбергит, в свою очередь, также развивается по зернам альбита, однако замещает лишь краевую их часть (рисунок 3.47, 3.48). Стоит оговориться, что вполне возможно, развитие гальгенбергита по кальциту уже после замещения им альбита. Примером тому может служить рисунок 3.47. Здесь можно наблюдать замещенную кальцитом группу зерен альбита. Реликты силиката обнаруживаются лишь в центральной части индивидов. Гальгенбергит при этом слагает близкую к границе зерна часть.

Рисунок 3.48, в свою очередь, показывает схожую картину, но здесь мы не наблюдаем кальцита - гальгенбергит образуется напрямую по альбиту.

Химический состав минералов представлен в таблице 3.40 и 3.41. Необходимо отметить, что возможности используемого метода не позволяют замерить точное количество углерода в составе минерала, поэтому диагностика и расчёт формул проводились исходя из дефицита суммы элементов, учитывая количество зарядов в теоретической формуле минерала.

Как видно из таблицы 3.40, химические составы кальцита, в большинстве своем, нормированы на 100%, исключение – спектр 1367. Тем не менее, диагностика минерала по имеющимся данным не вызывает сомнения. Отметим примесь магния в составе минерала, колеблющуюся от 1,46 до 3,17 мас.%. Формула минерала, пересчитанная на 1 атом Si+Mg будет иметь вид $(\text{Ca}_{0,96}\text{Mg}_{0,04})_{1,00}(\text{CO}_3)_2$ (Спектр 1367).

Таблица 3.40

Химический состав кальцита

мас.% \ №	1343	1346	1275	1276	1280	1367
Mg	2,53	2,11	2,65	3,17	2,72	1,46
Ca	97,47	97,89	97,35	96,83	97,28	51,70
Сумма	100	100	100	100	100	53,16

Химический состав гальгенбергита-(Ce) приведен в таблице ниже. Как видно, в составе преобладают легкие редкоземельные элементы (в порядке убывания): Ce, Nd, La, Pr, Sm. Иногда также встречается примесь гадолиния (до 0,74 мас.%) и иттрия (до 1,11 мас.%), а так же фосфора (до 0,64 мас.%) и кремния (до 1,31 мас.%).

В позиции кальция стабильны незначительные содержания стронция – 0,67-1,54 мас.%.

Расчётное соотношение $(\text{REE}+\text{Y})/(\text{Ca}+\text{Sr})$, позволившее классифицировать минерал именно как гальгенберgit-(Ce), всегда близко или равняется 2/1.

Пересчет химического состава минерала на 3 атома суммы катионов представлен в таблице 3.42, а рассчитанная формула имеет вид:

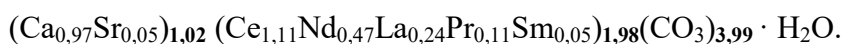


Таблица 3.41

Химический состав гальгенбергита-(Се)

мас.% \ №	1374	1375	1376	1377	1378	1380
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	0,64
SiO ₂	-	0,50	-	0,38	0,49	1,31
Y ₂ O ₃	-	-	-	0,60	-	-
La ₂ O ₃	6,06	7,06	5,54	5,59	7,79	5,98
Ce ₂ O ₃	28,53	34,23	28,76	29,77	30,88	29,10
Pr ₂ O ₃	2,77	2,20	2,88	2,68	2,54	2,10
Nd ₂ O ₃	12,41	7,85	12,11	11,72	10,00	11,47
Sm ₂ O ₃	1,36	-	1,50	1,15	-	-
Gd ₂ O ₃	-	-	0,74	-	-	-
SrO	0,84	1,10	0,67	1,54	1,16	0,73
CaO	8,45	8,55	7,76	8,56	7,66	7,37
Сумма	60,42	61,49	59,96	61,99	60,52	58,7

Продолжение таблицы 3.41

мас.% \ №	1381	1393	1394	1395	1396	1361
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	0,28
SiO ₂	0,89	-	0,76	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	1,11	0,94
La ₂ O ₃	6,15	5,57	6,54	6,28	4,67	4,89
Ce ₂ O ₃	28,52	25,4	27,22	26,62	24,13	23,46
Pr ₂ O ₃	2,93	3,10	2,73	3,38	3,07	3,08
Nd ₂ O ₃	11,48	14,21	12,19	14,25	15,01	15,92
Sm ₂ O ₃	0,95	1,90	1,57	1,88	2,31	2,34
Gd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-
SrO	0,79	0,81	1,23	1,30	0,93	0,69
CaO	7,45	8,33	9,14	7,56	8,59	8,26
Сумма	59,16	59,32	61,38	61,27	59,82	59,86

Таблица 3.42

Пересчет химического состава гальгенбергита-(Ce) в формульные коэффициенты
на 3 атома суммы катионов

Fc \ №	1374	1375	1376	1377	1378	1380
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
Si	0,00	0,05	0,00	0,04	0,05	0,15
Y	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
La	0,24	0,27	0,22	0,22	0,31	0,25
Ce	1,11	1,32	1,15	1,14	1,23	1,23
Pr	0,11	0,08	0,11	0,10	0,10	0,09
Nd	0,47	0,29	0,47	0,44	0,39	0,47
Sm	0,05	0,00	0,06	0,04	0,00	0,00
Gd	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Sr	0,05	0,07	0,04	0,09	0,07	0,05
Ca	0,97	0,96	0,91	0,96	0,89	0,91
CO ₃	3,99	4,09	4,02	4,10	4,12	4,48

Продолжение таблицы 3.42

Fc \ №	1381	1393	1394	1395	1396	1361
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Si	0,10	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06
La	0,26	0,22	0,25	0,25	0,19	0,20
Ce	1,18	1,01	1,04	1,05	0,96	0,95
Pr	0,12	0,12	0,10	0,13	0,12	0,12
Nd	0,46	0,55	0,45	0,55	0,58	0,63
Sm	0,04	0,07	0,06	0,07	0,09	0,09
Gd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sr	0,05	0,05	0,07	0,08	0,06	0,04
Ca	0,90	0,97	1,02	0,87	1,00	0,97
CO ₃	4,23	3,99	4,11	4,02	4,07	4,14

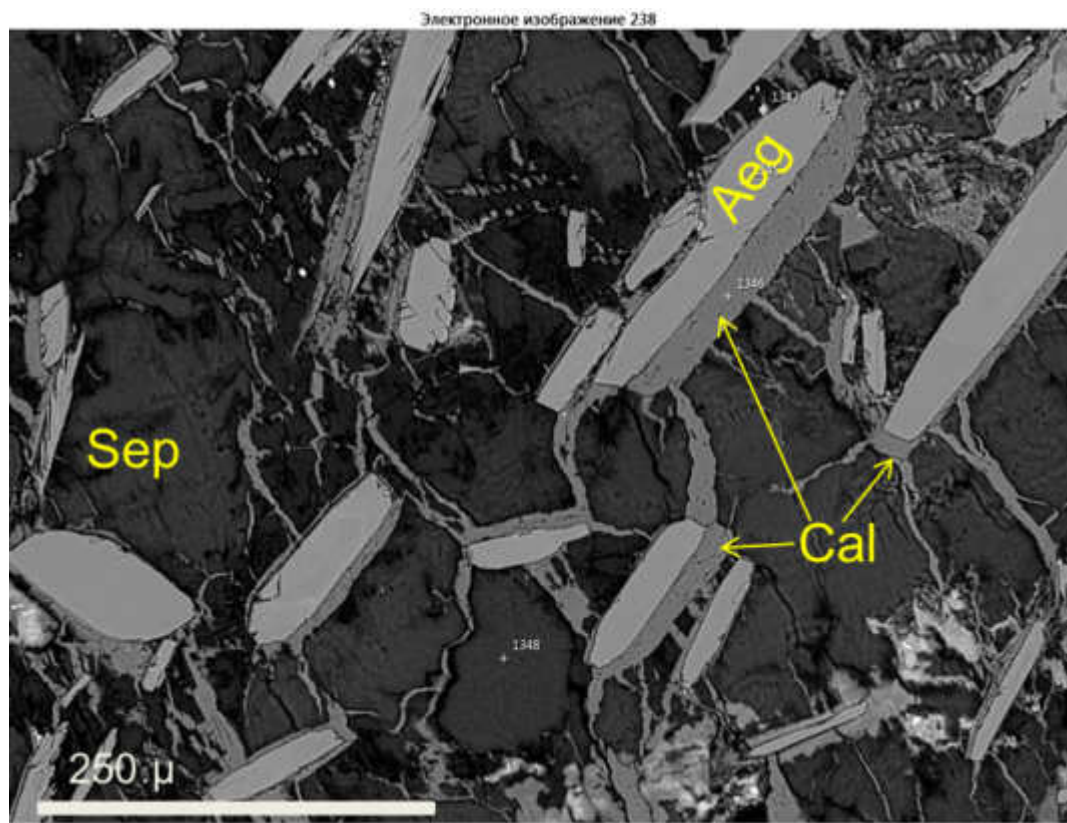


Рисунок 3.46. Развитие кальцита (Cal) вокруг зерен эгирина (Aeg) и по трещинам в породе

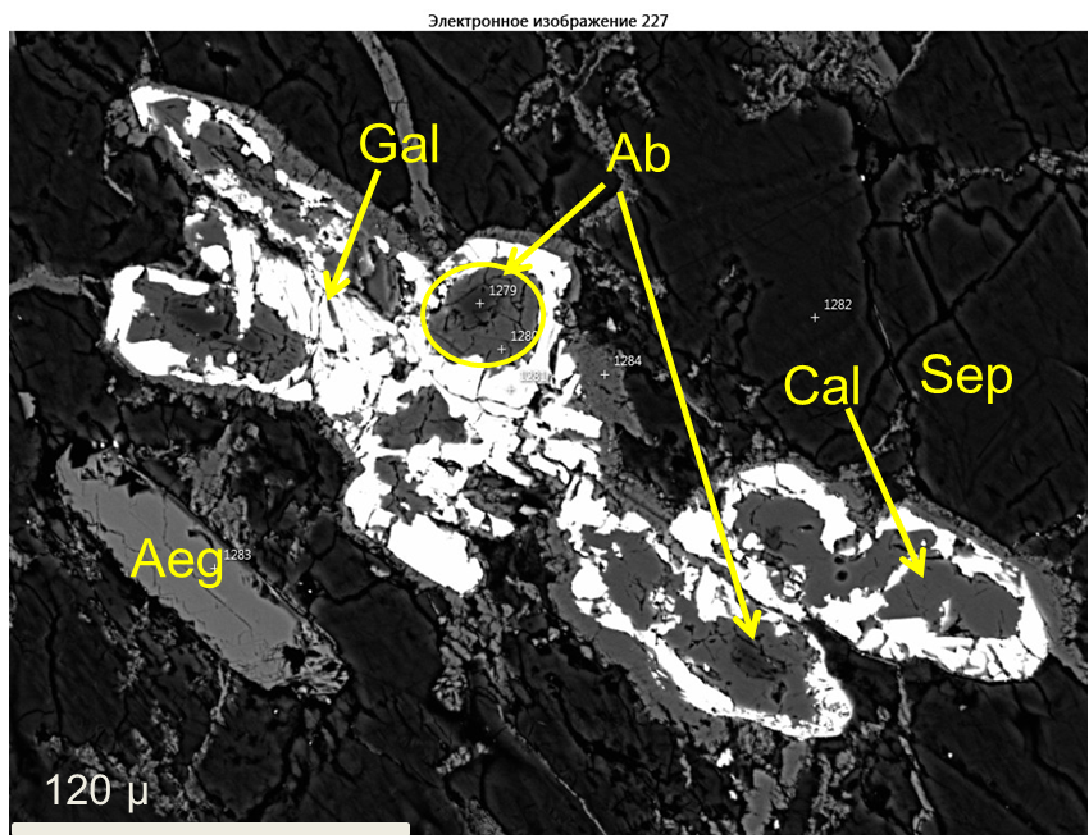


Рисунок 3.47. Развитие кальцита по зернам альбита и гальгенбергита-(Ce)(Gal) по новообразованному кальциту (Cal). В центре зерна – реликты альбита (Ab)

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

В результате проделанной работы была получена минералогическая характеристика щелочных пегматитов Кондёрского щелочно-ультраосновного комплекса.

По особенностям минерального состава и текстурно-структурным признакам среди щелочных пегматитов выделено пять разновидностей пород, относящихся к двум различным по генезису группам.

К первой группе были отнесены собственно постмагматические породы без существенных следов последующих изменений:

- 1) Пегматиты сиенитов
- 2) Пегматиты нефелиновых сиенитов
- 3) Пегматиты иолит-уртитов

В породах второй группы проявлены гидротермально-метасоматические процессы, которые привели к значительному изменению минерального состава пород и их текстурно-структурных особенностей. Здесь выделено две разновидности:

- 1) Эвдиалит-содержащие породы эгирин-альбитового состава
- 2) Вишневитовые породы

В рамках изучения вещественного состава представленных пород был диагностирован и с разной детальностью охарактеризован минералы, представляющие 33 минеральных вида. Для удобства описания все освещенные в работе минералы разделены традиционным способом по их количественному соотношению в горной породе. Главные – минералы, составляющие основу породы; второстепенные – минералы, хотя и не доминирующие в составе, тем не менее, слагающие значительную часть пегматита; редкие – минералы, встречающиеся в породе в минимальных количествах и, чаще всего, различимые только на микроуровне.

Необходимо оговориться, что некоторые минералы, являясь главными для одной разновидности пегматита, могли быть второстепенными или даже редкими применительно к другой разновидности щелочных пород Кондёра. В сводной таблице такие минералы были отнесены к группе, отвечающей их максимальному содержанию среди всех описанных пород. Так нефелин, являясь одновременно редким минералом для эвдиалит-содержащих пегматитов эгирин-альбитового состава и главным минералом для пегматитов иолит-уртитов, в сводной таблице будет отнесен к группе главных минералов.

В целом, к главным минералам были отнесены такие фазы, как эгирин, альбит, нефелин и вишневит. Второстепенные минералы представлены лампрофиллитом, баритолампрофиллитом, микроклином, титанитом и эвдиалитом.

Хотя эти минералы были ранее описаны в массиве, в ходе работы получены дополнительные сведения по их пространственно-временным взаимоотношениям и химическому составу, а также уточняющие структурные данные некоторых фаз.

Список редких минералов наиболее обширен. Здесь было выделено 24 минеральных вида. Это кальциокатаплект, эльпидит, бобтраиллит, стилвеллит-(Ce), датолит, кайнозит-(Y), перклевеит-(Ce), мусковит, анальцим, сепиолит, нчванингит, стронадельфит, апатит, фторкафит, ксенотим-(Y), бритолит-(Ce), монацит-(Ce), монацит-(Nd), Кальцит, Гальгенбергит-(Ce), пирофанит, борнит, пирит и халькопирит.

Многие минералы в данной работе описаны впервые для Кондёрского массива (16 видов). Некоторые из них являются весьма редкими. Так, находки бобтраиллита и гальнебергита-(Ce) являются вторыми в мире и единственными на территории России. Стронадельфит ранее был описан лишь единожды в Хибинах. Нечасто встречающимися так же являются фторкафит, стилвеллит-(Ce), баритолампрофиллит и нчванингит.

Другие минералы, хотя и не являются столь редкими, все же имеют свои особенности, которые стоит отметить.

Так, эгирин представлен несколькими морфологическими разновидностями:

- отдельные крупные длинно-призматические кристаллы длиной до 3-4 см
- сплошные тонковолокнистые агрегаты
- радиально – лучистые агрегаты
- в виде включений тонких иголок в кристаллах нефелина, альбита, калиевого полевого шпата.

Лампрофиллит, представлен двумя видами – стронциевым лампрофиллитом и баритолмапрофиллитом, а также переходную, значительно обогащенную барием разновидность лампрофиллита.

По данным электронной микроскопии, баритолампрофиллит встречается как в виде отдельных индивидов, так и в виде прорастаний в собственно лампрофилите.

По морфологическим свойствам в пегматитах Кондёра лампрофиллит и баритолампрофиллит представлены тремя разновидностями. Это призматические кристаллы субидиоморфного облика; пластинчатые, часто образующие радиально-лучистые агрегаты кристаллы; отдельные мелкие выделения, распределённые в породе.

Минералы группы «редкие» в основном образуют мелкие выделения, не превышающие первых сотен микрон. Большинство этих фаз были обнаружены при изучении эвдиалита, они заполняют каверны, полости и трещины в пределах его индивидов.

Отметим и уникальные свойства гидратированного аналога манганозвдиалита.

Хотя исследуемый минерал и имеет в целом характерные для эвдиалитов морфологию, химический состав и структуру, некоторые его особенности вполне индивидуальны и, возможно, являются типоморфными для данного месторождения.

В виду геохимической специфичности кондёрского платиноносного массива, изученный «манганозвдиалит» содержит экзотичные для собственно эвдиалита элементы (С, Рb и др.) и, наоборот, дефицитен в отношении типичных для него Cl и Na. Наличие чётко выраженных признаков изменения минерала позволяют полагать, что на ранних стадиях (собственно пегматитовых) кристаллизовался «нормальный», высоконатриевый эвдиалит. Затем он подвергся гидротермальному изменению, которое сопровождалось выносом натрия и хлора, гидратацией с привнесом свинца, бария и карбонат-иона путем природного ионного обмена.

Разупорядоченный характер заполнения большинства внекаркасных катионных и анионных позиций свидетельствуют в пользу ионообменных процессов, осуществляемых уже в твердой фазе. Наиболее вероятно, что рассматриваемый минерал является промежуточным звеном в ряду манганозвдиалит → илюхинит, но его нельзя отнести ни к одному из утвержденных минералов этой группы (Johnsen et al., 2003).

Совокупность полученных данных свидетельствует о уникальности рассматриваемого минерала и позволяет поставить вопрос об утверждении в качестве нового минерального вида.

Обобщив данные, полученные при изучении щелочных пегматитов Кондёрского массива, можно выделить следующие особенности минералогии пород.

В первую очередь стоит отметить отсутствие собственно циркона при обилии других минералов циркония – эвдиалита, кальциокатаплеита, эльпидита, бобтраиллита, а также примесь его в составе эгирина. Это указывает на высокую степень агпаитности описанных пород.

На фоне «обычных» для щелочных пород минералов весьма экзотично выглядит боровая минерализация. Ее представляют несколько минералов бора: бобтраиллит, стилуэллит-(Ce) и датолит. Причем, если датолит, в целом, встречается достаточно часто, то стилуэллит-(Ce) и бобтраиллит – крайне редкие минералы.

Отметим так же значительное число силикатов марганца и магния и частую примесь этих элементов в составе других минералов щелочных пегматитов.

Обособлены от других щелочных пегматитов массива вишневитовые породы. Главное их отличие – сульфатная минерализация (вишневит – сульфатный аналог канкринита), резко доминирующая в минералогическом составе пегматита, а также

значительное содержание вкрапленных сульфидов – борнита, пирита и халькопирита в виде относительно крупных индивидов.

Полученная информация по минералогии щелочных пегматитов Кондерского массива позволяет сформулировать некоторые предположения о характере минералообразующих процессов. Здесь одним из главных реперных минералов будет эвдиалит. Это обусловлено несколькими особенностями этого цирконосиликата. Во-первых, эвдиалит Кондёрского массива является раннемагматическим образованием, таким образом, его индивиды могут нести информацию о всех последующих воздействиях, которым подверглись щелочные породы массива. Во-вторых, он имеет цеолитоподобную структуру, склонную к активному ионообмену, что в совокупности с разнообразным элементным составом минерала образует широкое поле для изоморфных замещений. Они, в свою очередь, являются наглядным индикатором проходивших метасоматических преобразований. В-третьих, эвдиалитсодержащие пегматиты отличаются наиболее разнообразным минеральным составом и обилием вторичной минерализации, характер которой также позволяет получить сведения о процессах минералообразования.

Так, исходный магматический «протоэвдиалит», вероятно, имел типичный для манганозвдиалита химический состав, с высокими содержаниями натрия и хлора. На начальных этапах кристаллизации магмы также образовывались эгирин, альбит, нефелин, микроклин и лампрофиллит. По правилу геометрического отбора происходил рост краевых частей жилы, формировалась зональность пегматита.

Далее прослеживаются еще два этапа эволюции пегматита. На конечных стадиях пегматитообразования проходили гидротермально-метасоматические процессы преобразования породы. В ходе них лампрофиллит обогащался барием, образовывался переходный, высокобариевый лампрофиллит и барий-доминантный баритолампрофиллит. В породе происходила перекристаллизация фельдшпатоидов и полевых шпатов с образованием мелкозернистой эгирин-альбитовой массы. Эвдиалит был подвержен активному катионообмену с выносом натрия, хлора, частично – железа и привносом свинца, бария, карбонат-иона и водной составляющей минерала. В полостях и кавернах кристаллизовались иттриевые минералы. Нефелин практически полностью исчезает, лишь на микроуровне наблюдаются реликты этого алюмосиликата. В результате изменения текстурно-структурных свойств порода приобретает настоящий облик.

Третьим этапом становления пегматита является воздействие на него низкотемпературных гидротермальных растворов. Под их влиянием происходит разрушение эвдиалита, по которому развивается кальциокатаплект и эльпидит.

Высвобождаются значительные количества кремнезема, редких земель, иттрия, стронция, а так же марганца и карбонат-иона. Большинство из них кристаллизуется в непосредственной близости от индивидов эвдиалита в виде фосфатов, силикатов и карбонатов, образуя микроскопические выделения в полостях выщелачивания, кавернах, трещинах. С действием таких растворов, по всей видимости, связан привнос бора в породу. Отметим, что вопрос о происхождении этих растворов остается открытым.

В косьвитах встречаются существенно «рудные» обособления. Минеральный состав этих пород резко отличается от обычных ассоциаций косьвитов массива. Главными рудными минералами здесь являются халькозин, борнит, халькопирит; распространены минералы висмута, ванадия, свинца, палладия, серебра и золота, встречаются платино-свинцовые и платино-палладиевые фазы. Возможно, данные «рудные косьвиты» и являются одним из источников золота, которое постоянно присутствуют в конечных платиновых концентратах при переработке россыпей Кондерского месторождения.

Следует отметить, что, про крайней мере, некоторые минералы благородных металлов приурочены к относительно поздним гидротермальным образованиям косьвитов. Так, самородное золото концентрируется в сколецитовых прожилках (рис. 4.1).

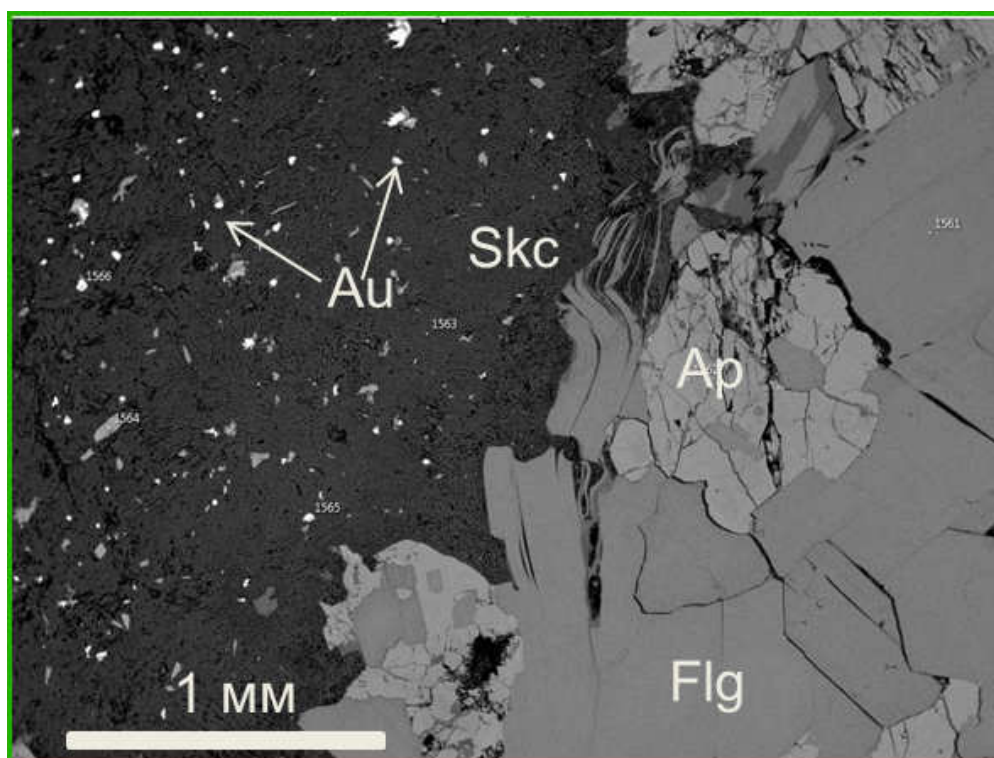


Рисунок 4.1. Самородное золото в сколецитовой прожилке

С другой стороны:

- некоторые тела сильно измененных щелочных пегматитов сложены минералом группы канкринита, который представлен его *сульфатным* видом — вишневитом, в

макроскопических количествах здесь наблюдаются сульфиды меди (халькопирит и борнит).

- В претерпевшем изменения, гидратированном эвдиалите постоянно присутствует нехарактерный для этого минерала свинец.

- поздние фосфато-силикаты в щелочных пегматитах содержат до 7 мас.% V_2O_5 .

Контакты щелочных пегматитов с косьвитами сопровождаются собирательной перекристаллизацией последних (рис. 4.2).

На наш взгляд, все вышесказанное позволяет предполагать связь между процессами формирования щелочных пород и мобилизацией рудного вещества (в частности, золото-палладиевой минерализации) в более древних пироксеновых породах. Этот тезис коррелирует с данными об обогащении платиноидами сульфидизированных щелочных пород Кондерского массива (Мочалов, Галанкина, 2015).

Учитывая полученные данные, представляется перспективным и может иметь практическое значение дальнейшее минералогическое изучение щелочных пород Кондера в комплексе с вмещающими породами базит-гипербазитовой серии. Особое внимание при этом следует уделять поздним гидротермально-метасоматическим ассоциациям.

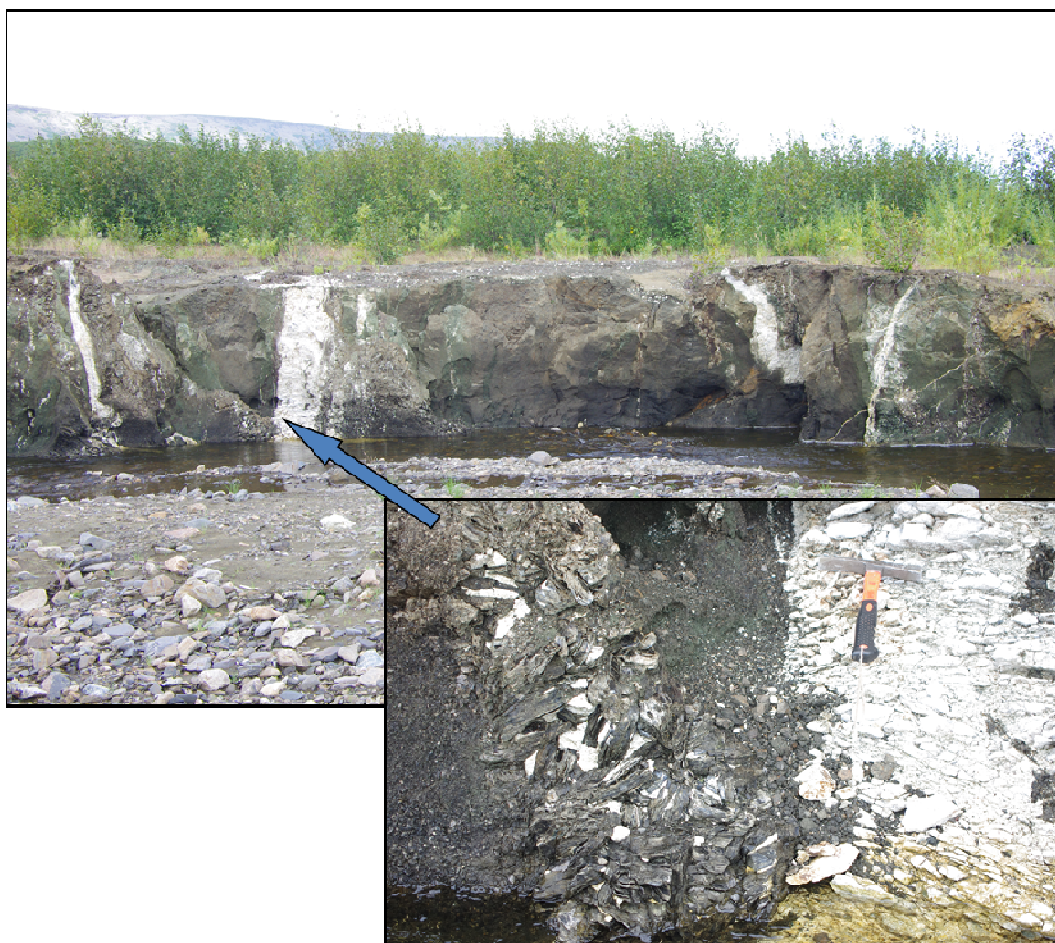


Рисунок 4.2. Участок перекристаллизации косьвита с гигантскими кристаллами флогопита на контакте с интрузией щелочных пород

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщив вышесказанное, по итогам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Дана минералого-петрографическая характеристика щелочных пегматитов Кондёрского массива, выделены их разновидности.
2. Диагностированы и с разной детальностью охарактеризованы минералы щелочных пегматитов, 17 из них на месторождении установлены впервые, некоторые являются весьма редкими.
3. Получены представления о характере и последовательности минералообразующих процессов при образовании щелочных пегматитов.
4. Сделано предположение о связи поздних гидротермально-метасоматических явлениях в пегматитах с формированием золото-палладиевой минерализации в косьвитовых породах месторождения.

В результате настоящего исследования были получены как абсолютно новые данные по минералогии щелочных пород Кондёрского массива, так и более детально изучены известные ранее минералы. Получены представления о процессах становления щелочных пород и их пегматитов, взаимодействии последних с другими образованиями массива.

Тем не менее, некоторые вопросы требуют дальнейшего, более детального изучения. Так, перспективным направлением работы является исследование минерального состава вишневитовых пород и механизм появления сульфатной и сульфидной минерализации в них, а так же связь щелочного магматизма с образованием золото-палладиевой минерализации «рудных косьвитов». Кроме того открытым остается вопрос источника гидротермальных растворов, осуществлявших привнос летучих элементов, в частности - бора в щелочные породы.

Эти, а так же другие поднятые в настоящей работе вопросы формируют широкий спектр тем для дальнейших исследований щелочного магматизма Кондёрской щелочно-ультраосновной зональной интрузии.

В заключение хотелось бы выразить благодарность всем тем, кто принимал участие в подготовке и представлении данной работы. В частности - моему научному руководителю - доценту кафедры Минералогии СПбГУ А.А. Антонову и всему составу кафедры Минералогии СПбГУ; профессору кафедры минералогии МГУ И. В. Пекову;

доцентам кафедры Кристаллографии СПбГУ А.А. Золотареву мл. и Н.В. Платоновой; ведущему научному сотруднику лаборатории металлогении, рудогенеза и экогеологии ИГГД РАН А.Г. Мочалову; руководителю сектора изучения новых материалов ЦНМ КНЦ РАН Г.Ю. Иванюку; Т.Л. Паникоровскому; Д.О. Зиняхиной, а также аналитикам Дж. Спратту (Лондонский музей естественной истории), В.В. Шиловских и Н.С. Власенко (РЦ СПбГУ «Геомодель») за помощь в анализе состава минералов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Белов Н.В. «Очерки по структурной минералогии» // М. Недра. 344 с., 1976
- Булах А.Г. «Руководство и таблицы для расчета формул минералов»//142 с., М: «Недра», 1967
- Булах А. Г., Золотарёв А. А., Кривовичев В. Г. «Структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов» СПб.: изд-во С.-Петерб. ун-та, 133 с., 2014.
- Булах А.Г., Петров Т.Г. «Химическое разнообразие минералов группы эвдиалита, их ранговые формулы и химико-структурные разновидности минеральных видов»// Записки всероссийского минералогического общества Ч. СXXXII, №4, 2003.
- Голышев В.М., Симонов В.И., Белов Н.В. «О кристаллической структуре эвдиалита» // Кристаллография, Т. 16. № 1. С. 93-98, 1971.
- Голышев В.М., Симонов В.И., Белов Н.В. «Кристаллическая структура эвдиалита» // Кристаллография, Т. 17. № 6. С. 1119-1123, 1972.
- Гурович В.Г., Емельяненко Е.П., Землянухин В.Н., Каретников А.С., Квасов А.И., Лазаренков В.Г., Малич К.Н., Мочалов А.Г., Приходько В.С., Степашко А.А. «Геология, петрология и рудоносность Кондерского массива» Наука, Москва, 176 стр., 1994.
- Каретников А.С. «К проблеме определения возраста массива Кондёр»//Тихоокеанская геология, 2005, том 24, №4 с. 76 – 83
- Каретников А.С. «Возраст и генезис платиноидной минерализации массива Кондер: палеомагнитные и радиоизотопные данные»// Литосфера, 2006, No 3, с. 96-107
- Кривовичев В.Г. «Минералогический словарь»// СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та. — 556 с., 2009.
- Кривовичев В.Г., Чарыкова М.В. «Классификация минеральных систем»// СПб, Изд-во С.-Петерб. ун-та, 196 с., 2013.
- Мочалов А.Г., Галанкина О.Л. «Онтогенез кристаллических индивидов металлов платиновой группы массива Кондёр Алданского щита»// Тезисы XII съезда Российского минералогического общества «Минералогия во всем пространстве сего слова», 13-16 октября 2015, Санкт-Петербург, С.131-133.
- Некрасов И.Я., Ленников А.М., Октябрьский Р.А. и др. «Петрология и платиноносность кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов» М.: Наука, 381 с., 1994а.
- Николаев А. «Артель старателей "Амур" осваивает платиновый запас месторождений Кондер и Уоргалан» // Дальневосточный капитал, №6, 2013

- *Пеков И. В.* «Иттриевая минерализация в Хибино-Ловозерском щелочном комплексе (Кольский полуостров)» // ЗВМО. 1998. Т. 127 № 5. С. 66–85.
- *Петров Т. Г., Краснова Н. И.* «R-словарь-каталог химических составов минералов» // СПб.: Наука, 150 с., 2010.
- *Расцветаева Р.К., Андрианов В.И.* «Новые данные о кристаллической структуре эвдиалита»// Докл. АН СССР. 1987а. Т. 293 №5. с. 1122-1126.
- *Расцветаева Р. К., Чуканов Н. В.* «Принципы кристаллохимической классификации минералов группы эвдиалита» // ЗРМО. 2011. Т. 140. №3. С. 25–40.
- *Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В., Аксенов С.М.* «Минералы группы эвдиалита: кристаллохимия, свойства, генезис»// Нижний Новгород, Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, 2012, 229 с.
- *Расцветаева Р.К., Боруцкий Б.Е.* «Кристаллохимические особенности эвдиалита в свете новых данных» // Минер. Журн. Т. 10. № 1. С. 48-57. 1988а.
- *Расцветаева Р.К., Боруцкий Б.Е., Гусев А.И.* «Кристаллическая структура эвколита»// Кристаллография. Т. 33. № 2. С. 353-359, 1988b.
- *Расцветаева Р.К., Соколова М.Н., Боруцкий Б.Е.* «Кристаллическая структура калиево-оксониевого эвдиалита» // Кристаллография. Т. 35. № 6. С. 1381-1387., 1990а.
- *Расцветаева Р.К., Рамзанова З.П., Боруцкий Б.Е., Дорфман М.Д.* «Особенности кристаллического строения барсановита – разновидности эвдиалита» //ЗВМО. Ч. 119. № 3. С. 65 – 72, 1990с.
- *Расцветаева Р.К., Боруцкий Б.Е.* «Структурные особенности TR-Fe и Tr-Mn эвколитов» // Минер. Журн. Т. 12. № 4. С. 81 – 88., 1990d.
- *Саранчина Г.М.* «Породообразующие минералы (методика определения кристаллооптических констант, характеристика минералов)» // 156 с., СПб: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2000
- *Хомяков А.П.* «Кристаллохимическая систематика минералов группы эвдиалита» // Труды Третьего международного симпозиума «минеральное разнообразие, исследование и сохранение» 7-10 октября 2005г. Нац. музей «Земля и люди». С. 257-264., 2007с.
- *Хомяков А. П., Нечелюстов Г. Н., Расцветаева Р. К.* «Аквалит $(\text{H}_3\text{O})_8(\text{Na}, \text{K}, \text{Sr})_5\text{Ca}_6\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{66}(\text{OH})_9\text{Cl}$ - новый минерал группы эвдиалита из щелочного массива Инагли, Саха-Якутия, Россия, и проблема оксония в гидратированных эвдиалитах»// ЗРМО. 2007. Т. 136. №2. С. 39–55.
- *Хомяков А. П., Дусматов В. Д., Феррарис Дж., Гула А., Ивальди Г., Нечелюстов Г. Н.* «Цирсилит-(Ce) $(\text{Na}, \square)_{12}(\text{Ce}, \text{Na})_3\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3\text{Nb}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{OH})_3(\text{CO})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и

карбокентбруксит $(\text{Na}, \square)_{12}(\text{Na}, \text{Ce})_3\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3\text{Nb}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{OH})_3(\text{CO}_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$ - новые минералы группы эвдиалита из щелочного массива Дара-и-Пиоз, Таджикистан» // ЗРМО. 2003. Т. 132. № 5. С. 40–51.

- Чуканов Н.В., Расцветаева Р.К., Розенберг К.А., Аксенов С.М., Пеков И.В., Белаковский Д.И., Кристиансен Р., Ван К.В. «Илюхинит $(\text{H}_3\text{O}, \text{Na})_{14}\text{Ca}_6\text{Mn}_2\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – новый минерал группы эвдиалита» // ЗРМО. 2016. Т. 145 № 2. С. 44–57.

References

- Bruker-AXS (2014). APEX2. Version 2014.11-0. Madison, Wisconsin, USA.
- Bulakh A.G., Petrov T. G. «Chemical variability of eudyalite-group minerals and their sorting»// *Neues Jahrbuch fur Mineralogie – Abhandlungen*. 2004. Vol. 3. P. 127–144.
- Johnsen O., Gault R.A. «Chemical variation in eudialyte» // *Neues Jahrb. Mineral. Abh.* V. 171. P. 215-237., 1997.
- Johnsen O., Grice J.D., Gault R.A. «17th IMA General Meeting. Abstracts. 1998a. Canada, Toronto.
- Johnsen O., Grice J.D., Gault A. «Kentbrooksite from the Kangerdlugssuaq intrusion, East Greenland, a new Mn-REE-Nb-F end-member in a series within the eudialyte group: Description and crystal structure // *Eur. J. Mineral.* V. 10. P. 207-219, 1998b.
- Johnsen O., Grice J.D., Gault A. «Oneillite: A new Ca-deficient and REE-rich member of the eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canada» // *Can. Mineral.* V.37. P. 1111-1117., 1999a.
- Johnsen O., Gault R.A., Grice J.D., Ercit T.S. «Khomyakovite and mangan khomyakovite, two new members of eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canada» // *Can. Mineral.* V. 37. No 4. P. 893- 899., 1999b.
- Johnsen O., Grice J.D. «The crystal chemistry of the eudialyte group» // *Can. Mineral.* 1999c. V. 37. №4. P. 865-891.
- Johnsen O., Ferraris G., Gault R.A., Grice J.D., Kampf A.R., Pekov I.V. «The nomenclature of eudialyte-group minerals» // *Can. Mineral.* V. 41. P. 785-794., 2003a.
- Johnsen O., Gault R.A., Grice J.D. «Ferrokentbrooksite, a new member of the eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebec» // *Can. Mineral.* V. 41. P. 785 – 794, 2003b.
- Khomyakov A.P. «Endemic minerals as product of geocatalysis and indicators of highly productive ore-generating processes» // *IMA Gen. Meetm Kobe, Japan.* 2006. P. 305.

- Kretz R. «Symbols for rock-forming minerals» // American mineralogist, volume 68, pages 277- 279, 1983
- Pfaff K., Wenzel T., Schilling J., Marks M.A.W., Markl G. «A fast and easy-to-use approach to cation site assignment for eudialyte-group minerals»// N. Jb. Miner. Abh. 187/1, 69–81, 2010.
- Putz H., Brandenburg K. Diamond – Crystal and Molecular Structure Visualization. Kreuzherrenstr. 2014. 102, 53227 Bonn, Germany.
- Schlüter J., Malcherek T., Husdal T. A. «The new mineral stetindite, CeSiO₄, a cerium end-member of the zircon group» // Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen, 2009, 186 (2), 195-200.
- Schilling J., Wu F.Y., McCammon C., Wenzel T., Marks M.A.W., Pfaff K., Jacob D.E., Markl G. «The compositional variability of eudialyte-group minerals» // Mineralogical Magazine, February 2011, Vol. 75(1), pp. 87–115
- Sheldrick G. M. A short history of SHELX. *Acta Cryst.* 2008. Vol. A64. P. 112-122.
- Whitney D.L., Evans B.W. «Abbreviations for names of rock-forming minerals» // American mineralogist, volume 95, pages 185-187, 2010

Интернет-ресурсы:

- Maps.yandex.com
- Mindat.org
- Minsoc.ru
- Webmineral.com